



WATERBOUWRAPPORT VERSTERKING DELFLANDSE KUST



**VERSIE
DATUM
REFERENTIE**

**Definitief
19 februari 2007
W3487-02.001/ WG-SE20061125**



Achtergrondrapportage

Waterbouwrapport Delflandse kust

Technische analyse t.b.v. versterking
van de Delflandse kust

Initiatief van: Hoogheemraadschap van Delfland

In samenwerking met: Provincie Zuid-Holland

Rijkswaterstaat

Gemeente Den Haag

Gemeente Westland

Deelgemeente Hoek van Holland

Gemeente Rotterdam

Achtergrondrapport

dossier W3487-02.001

registratienummer WG-SE20061125

versie definitief



februari 2007 / definitief

© DHV BV

Niets uit dit bestek/drukwerk mag worden veeleelvoudigd en/of openbaar gemaakt d.m.v. drukwerk, fotokopie, microfilm of op welke andere wijze ook, zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van DHV B.V., noch mag het zonder een dergelijke toestemming worden gebruikt voor enig ander werk dan waarvoor het is vervaardigd.

Het kwaliteitssysteem van DHV B.V. is gecertificeerd volgens ISO 9001.



ALTERRA
WAGENINGEN UR

INHOUD

BLAD

SAMENVATTING	5
1 ZWAKKE SCHAKEL DELFLANDSE KUST	12
1.1 Zwakke Schakel	12
1.2 Veiligheidsopgave Delflandse kust	12
1.3 Duincompensatie opgave	15
1.4 Alternatieven	15
1.5 Doel waterbouwrapport	16
1.6 Leeswijzer	17
2 VEILIGHEIDSOPGAVE	18
2.1 Inleiding	18
2.2 Toegepaste methodiek	18
2.3 Randvoorwaarden en uitgangspunten veiligheidsberekeningen	19
2.4 Veiligheidsberekeningen voor duinen	24
2.5 Veiligheidsberekeningen voor harde constructies	29
2.6 Conclusies veiligheid	45
3 MORFOLOGIE - ONDERHOUD & ONTWERPASPECTEN	47
3.1 Samenvatting resultaten morfologie	47
3.2 Achtergronden morfologisch onderzoek	49
3.3 Aanpak morfologisch onderzoek	50
3.4 Onderhoudsbehoefte Delflandse kust	53
3.5 Bepaling invloed alternatieven op onderhoudsbehoefte	62
3.6 Invloed alternatieven op toegangsgeul Scheveningen	73
3.7 Ontwerpaspect: Factoren van invloed op duinaangroei	74
3.8 Onzekerheden morfologisch onderzoek	79
4 UITWERKING ALTERNATIEVEN MER	81
4.1 Inleiding	81
4.2 Uitgangspunten bij ontwerp	81
4.3 Van veiligheid naar ontwerp	81
4.4 Van ontwerp naar aanleg	82
4.5 Ontwerp alternatieven	89
5 EFFECTEN VEILIGHEID EN MORFOLOGIE	102
5.1 Effecten veiligheid	102
5.2 Effecten morfologie	103
6 UITWERKING VOORKEURSALETERNATIEF	105
6.1 Bepaling indicatieve nieuwe ligging basiskustlijn	105
6.2 Veiligheid VKA en benodigde reservering	110
6.3 Kijkduin risico-ontwikkeling	113
7 REFERENTIES	117



8 COLOFON

120

BIJLAGEN

- 1 Uitgangspunten morfologie en veiligheid
- 1 Achtergronden morfologische analyse
- 3 Resultaten afslagberekeningen

SAMENVATTING

Deze rapportage geeft een overzicht van de verschillende onderzoeken op het gebied van veiligheid en morfologie die ten grondslag hebben gelegen aan het ontwerp en de bepaling van de effecten van de verschillende alternatieven in het MER voor versterking van de Delflandse kust.

Het rapport dient als onderbouwing van het MER waarin de verschillende alternatieven (verhoogde duinen, zeewaarts verbreden en royaal zeewaarts verbreden) en hun effecten worden vergeleken. Daarnaast dient deze rapportage als onderbouwing van het ontwerp van het voorkeursalternatief dat in het Verbeteringsplan is uitgewerkt en als onderbouwing van het ontwerp van het duincompensatiegebied, dat in het Duincompensatieplan is uitgewerkt.

Veiligheidsopgave

De eerste stap in het ontwerp van de alternatieven die een versterking van de kust voor de komende 50 jaar dienen te realiseren is het bepalen van de veiligheidsopgave. Belangrijke vragen hierbij zijn:

- Welke delen van de Delflandse kust behoeven versterking;
- Welk volume aan zand is minimaal nodig voor versterking.

Te versterken delen van de Delflandse kust

Met geactualiseerde hydraulische randvoorwaarden, waarin de nieuwe inzichten met betrekking tot golfbelasting zijn meegenomen, zijn veiligheidsberekeningen uitgevoerd die inzicht geven in de kwetsbaarheid van de Delflandse kust. Hieruit is gebleken dat met name het centrale deel van de Delflandse kust (traject Kijkduin tot aan De Banken, ca raai 105-115) binnen een periode van 50 jaar niet meer voldoet aan de gestelde veiligheidseisen (zie Afbeelding 0-1).

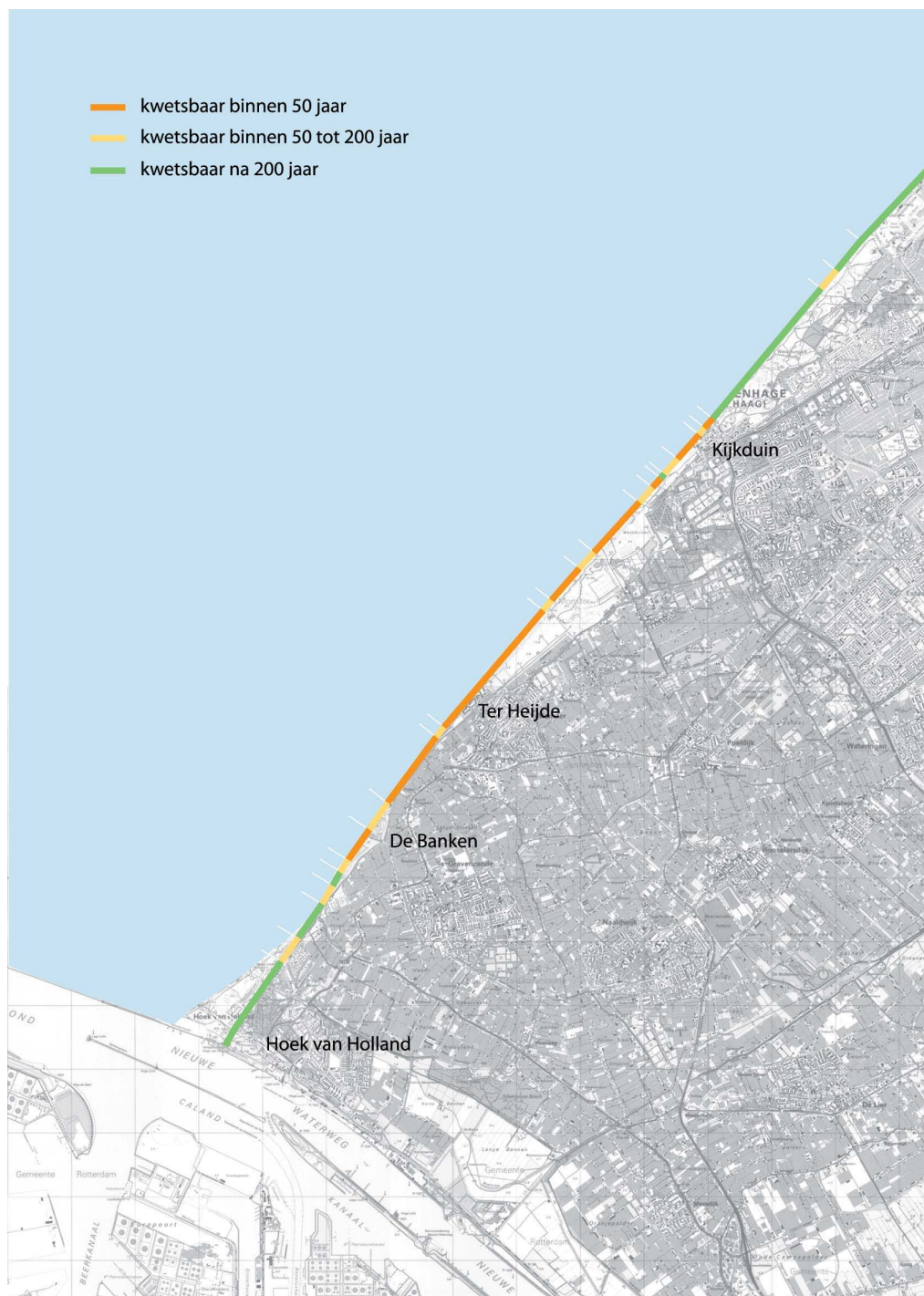
Minimaal benodigd zandvolume

Door het uitvoeren van veiligheidsberekeningen is bepaald hoeveel zand benodigd is om de kust zodanig te kunnen versterken dat de waterkering voor de komende 50 jaar aan de gestelde veiligheidseisen voldoet. Voor de zandige profielen is gebruik gemaakt van de op TAW (1984) gebaseerde Alkyon-rekenroutine voor DuinAfslag. Voor afslag bij (deels) verharde profielen is gebruik gemaakt van Durosta.

Gezien de variatie in alternatieven is er volgens vier verschillende principes bepaald hoe veel zand nodig is om de kust voldoende te kunnen versterken:

1. Landwaarts veiligheid: De minimaal benodigde hoeveelheid zand bij het aanbrengen van een versterking met zand in het huidige duin;
2. Zeewaarts veiligheid: De minimaal benodigde hoeveelheid zand die nodig is om het profiel zeewaarts te versterken door het aanleggen van nieuw duin en strand;
3. Zeewaarts consolidatie: De minimaal benodigde hoeveelheid zand die nodig is om de huidige afslaglijn te kunnen waarborgen door het aanleggen van nieuw duin en strand.
4. Zeewaarts consolidatie op raaien waar versterking nodig is: De minimaal benodigde hoeveelheid zand die nodig is om de afslaglijn te kunnen waarborgen door het aanleggen van nieuw duin en strand op de raaien waar versterking nodig is.

Bovengenoemde opties 1 en 2 geven weer wat de minimale hoeveelheid zand is dat benodigd is bij een versterking. In de consoliderende opties zit een extra hoeveelheid zand verwerkt.



Afbeelding 0-1: Veiligheidsopgave Delflandse Kust (op basis van ontwerprandvoorwaarden)

De benodigde hoeveelheid zand is berekend voor vier verschillende scenario's:

- scenario I - 50 jaar midden klimaatscenario;
- scenario II - 50 jaar maximum klimaatscenario;
- scenario III - 100 jaar maximum klimaatscenario;
- scenario IV - 200 jaar maximum klimaatscenario.

Scenario I is het klimaatscenario waarmee voor de benodigde versterking in de alternatieven wordt gerekend. De benodigde versterking voor dit scenario volgens de bovengenoemde ontwerpprincipes is:

Alternatief	Benodigde zandhoeveelheid (Mm ³)
Landwaarts veiligheid	1,8
Zeewaarts veiligheid	5,0
Zeewaarts consolidatie	14,1
Zeewaarts consolidatie op raaien waar versterking nodig is	7,2

Tabel 0-1: Minimaal benodigde zandhoeveelheden

De minimaal benodigde hoeveelheid zand die resulteert in een veilige kust voor het alternatief Verhoogde duinen is 1,8 Mm³. Voor de zeewaartse alternatieven is minimaal 5,0 Mm³ benodigd.

Opgemerkt dient te worden dat bovengenoemde getallen slechts minimale hoeveelheden zijn. Toeslagen in zand zijn benodigd vanwege het landschappelijk inpassen van de te versterken locaties en vanwege het duurzaam ontwerpen van de kust. Wordt namelijk zeer minimaal ontworpen dan is geen enkele slijtlaag aanwezig. Dit resulteert in een veiligheidsprobleem na de eerste storm die optreedt. Daarnaast zijn de berekende zandhoeveelheden in de veiligheidsberekeningen bepaald ten opzichte van een profiel dat een situatie weergeeft die de basiskustlijn benadert (MKL=BKL). In werkelijkheid is in de meeste raaien meer zand aanwezig dan in het profiel dat gebruikt is voor de veiligheidsberekeningen.

Morfologie

Kustonderhoud

Een inschatting van de morfologische effecten en de toekomstige onderhoudsbehoeften van de verschillende alternatieven en de referentiesituatie is van belang om de alternatieven goed met elkaar te kunnen vergelijken. De vragen die met de morfologische analyse moeten worden beantwoord zijn:

- Wat is de huidige omvang van het kustonderhoud?
- Wat is de omvang van het kustonderhoud in geval van autonome ontwikkeling?
- Wat is het verwachte extra onderhoud als gevolg van de aanleg van de alternatieven?
- Wat is de invloed van de strandhoofden op het kustonderhoud?

Om antwoord te kunnen geven op bovenstaande vragen is een analyse van het morfologische gedrag van de Delflandse kust uitgevoerd. Deze morfologische analyse is gebaseerd op een

analyse van beschikbare meetdata uit de periode 1965-2005 (jarkusmetingen), uitgevoerde modelberekeningen en aangevuld met een expert oordeel.

De morfologische analyse bestaat uit een aantal stappen

1. Analyse verandering van zandvolume dmv. kubering van Jarkus-raaien;
2. Afzetten volumeverandering tegen de uitgevoerde suppleties in dezelfde periode;
3. Bepalen van invloed verandering in langstransport door alternatieven met 1D kust-ontwikkelingsmodel UNIBEST-CL+;
4. Bepalen van verliezen naar diep water na het aanbrengen van kustuitbreiding m.b.v. 1D dwarstransport model UNIBEST-TC;
5. Analyse invloed afdekken strandhoofden op de onderhoudsbehoefte.

Kustonderhoud huidige situatie

Het totale volume zand langs de Delflandse kust is in de periode 1990-2005 gestaag toegenomen. Gedurende deze periode is circa 13 Mm³ zand gesuppleerd waarbij het zandvolume in de actieve zone (tussen NAP -8 meter en de duintop) met 10 Mm³ is toegenomen. Het verlies door erosie voor de hele Delflandse kust bedraagt circa 24%. Tussen 2000 en 2005 is naar verhouding aanzienlijk meer zand gesuppleerd (7,6 Mm³) dan in de voorgaande jaren. De verliezen naar diep water namen in deze periode meer dan evenredig toe en bedroegen circa 32%. Dit is veroorzaakt door een omvangrijke (3,6 Mm³) onderwatersuppletie die in 2001 bij Ter Heijde is uitgevoerd. Op grond van de uitgevoerde analyse wordt de onderhoudsbehoefte van de Delflandse kust in de huidige situatie ingeschat op 0,4 Mm³/ jaar, met een bandbreedte van 0,3 - 0,5 Mm³/jaar.

Kustonderhoud autonome ontwikkeling

Door de aanleg van het duincompensatiegebied wordt de kust gestrekt en wordt de knik in de kust ten zuiden van Ter Heijde weggehaald. Dit resulteert mogelijk in een geringe afname van de onderhoudsbehoefte van 50.000 m³/ jaar ten gevolge van gradiënten in het langstransport. Dit kleine positieve effect valt echter weg tegen de flinke toename in onderhoud die verwacht wordt als gevolg van klimaatverandering en de resulterende zeespiegelstijging. Ingeschat is namelijk dat het benodigde zandvolume voor kustonderhoud met ca 200% toe zal nemen over een periode van 50 jaar. Deze toename is het gevolg van met name het mee laten stijgen van het kustfundament met de zeespiegelstijging. Uitgaande van de huidige onderhoudsbehoefte van circa 0,4 Mm³/ jaar zal de onderhoudsbehoefte bij de autonome ontwikkeling toenemen tot circa 1,2 Mm³/ jaar over 50 jaar.

Strandhoofden en kustonderhoud

Het effect van het afdekken van strandhoofden kan op korte termijn leiden tot een toename van erosie en daarmee van de onderhoudsbehoefte. Op den duur zal als gevolg van de zeespiegelstijging de functie van strandhoofden wegvallen (autonome ontwikkeling) zodat het afdekken daarvan geen vergroting van de onderhoudsbehoefte op lange termijn ten opzichte van de autonome ontwikkeling zal betekenen. Op korte termijn heeft het afdekken mogelijk wel nadelige effecten op de onderhoudsbehoefte. Het effect daarvan is onzeker en wordt geschat op 0 - 100% toename van de huidige onderhoudsbehoefte op het traject Ter Heijde - Scheveningen (geschat op 0,2 Mm³/jaar). Dit komt overeen met een mogelijke toename van 0 - 50% van de erosieverliezen voor de gehele Delflandse kust. Het betreft overigens herverdeling van het gesuppleerde zand binnen het kustvak, waarbij lokaal meer erosie dan nu op kan treden. Omdat

de grootte van het effect onzeker is, en de erosie niet noodzakelijk tot onderhoudssuppleties hoeft te leiden, wordt met dit effect alleen in de onzekerheidsmarge rekening gehouden.

De mate waarin de strandhoofden worden afgedekt is verschillend per alternatief. Bij het alternatief "royaal zeewaarts" zal dit effect het grootst zijn, en bij het alternatief "verhoogde duinen" het kleinst. De onzekerheid omtrent de grootte van dit effect is echter dermate groot dat de alternatieven op dit punt niet onderscheidend zijn.

Kustonderhoud alternatieven

Alle alternatieven resulteren in een strakkere kustlijn dan in de huidige situatie het geval is vanwege de aanleg van het duincompensatiegebied dat geïntegreerd is in het ontwerp van de verschillende alternatieven. De aanleg van de duincompensatie is echter een autonome ontwikkeling en het (kleine positieve) effect van de aanleg van de duincompensatie moet los gezien worden van de effecten die de alternatieven hebben. Dit ondanks dat het ontwerp van de alternatieven sterk geïntegreerd is met de aanleg van het duincompensatiegebied.

Bij alle alternatieven zal de richting van de kustlijn niet veranderen ten opzichte van de huidige ligging. De verdeling van de langstransporten langs de kust en dus ook de onderhoudsbehoefte zal als gevolg hiervan niet wijzigen.

De gemodelleerde verschillen tussen de alternatieven onderling zijn relatief klein en vallen binnen de foutmarge van de berekening. De alternatieven zijn daarom niet onderscheidend op dit onderdeel.

Als gevolg van de aanleg van de kustversterking met onderwatersuppleties ontstaat een steilere vooroever bij de alternatieven zeewaarts verbreden en royaal zeewaarts verbreden. De versteiling van de vooroever resulteert mogelijk in een toename van onderhoudsbehoefte. Volgens uitgevoerde berekeningen met UNIBEST-TC is deze toename verwaarloosbaar klein, berekeningen met PONTOS door Alkyon laten een toename zien met ca. 10%. Er is geen onderzoek gedaan naar de verschillen tussen de alternatieven op dit punt. Omdat de kustuitbreiding bij alle gevallen op dezelfde manier wordt aangelegd is verondersteld dat het effect vergelijkbaar zijn. De toename is relatief klein, terwijl de onzekerheidsmarge vrij groot is. De alternatieven zijn daarom ook op dit punt niet onderscheidend.

Voor alle alternatieven wordt uitgegaan van een toename van de onderhoudsbehoefte met 10%; dit betekent 0,45 Mm³/jaar nu toenemend tot 1,3 Mm³/jaar over 50 jaar.

Kustonderhoud en onzekerheden

De bepaling van de onderhoudsbehoefte kent een grote marge van onzekerheid:

- De morfologische modelberekeningen en analyses hebben een onzekerheidsmarge van orde 100%. Deze vrij grote marge is gebruikelijk bij morfologische studies omdat de bestudeerde processen nog steeds te moeilijk zijn om ze nauwkeurig te modelleren (de modellen geven wel redelijk een trend aan, maar de numerieke uitkomst is vrij onnauwkeurig)
- De invloed van het afdekken van de strandhoofden heeft een onzekerheidsmarge van 50%. Er zijn geen modellen die dit effect goed kunnen voorspellen, de voorspelling is gebaseerd op expert judgement.
- Voor de effecten van zeespiegelstijging (autonome ontwikkeling) wordt aangenomen dat de nauwkeurigheid of onzekerheid daarvan orde 100% bedraagt, waarbij de aangenomen stijging eerder in de buurt van het maximum (85 cm /eeuw) dan van het minimum (20 cm/eeuw) ligt. Dit hangt mede met de aanname dat de huidige onderhoudsbehoefte samenhangt met

de huidige zeespiegelstijging terwijl dit vooral met de bestrijding van erosie en vasthouden van de kustlijn te maken heeft, en in mindere mate met het compenseren van de opgetreden zeespiegelstijging.

Dynamisch meegroeien met veiligheidsopgave

De duinen worden in principe direct aangelegd zoals in het ontwerpprofiel is aangegeven. De wens bestaat echter dat op een aantal locaties (bijvoorbeeld Solleveld) na de aanleg van het duin door natuurlijke duinvormende processen verdere duinontwikkeling optreedt. Ter plaatse van de PMR duincompensatie is dit zelfs een plicht.

Om inzicht te krijgen in de wijze waarop natuurlijke duinvorming het beste geïnitieerd kan worden is een analyse uitgevoerd waarbij de relatie tussen duinaangroei en strandbreedte in het verleden bij de Delflandse kust is bekeken. Belangrijke vragen die hierbij beantwoord moeten worden zijn:

- Wat is de huidige aangroeisnelheid van de duinen?
- Welke factoren zijn van invloed op de aangroeisnelheid?
- Wat is de relatie tussen strandbreedte en aangroeisnelheid?

Huidige aangroeisnelheid duinen

De huidige aangroeisnelheid van de duinen langs de Delflandse kust over de periode 1990-2005 varieert van 0 tot 35 m³/m/jaar. Lokaal kan een afname in het volume van het duin worden geconstateerd.

Relatie strandbreedte en aangroeisnelheid

Uit de analyse lijkt een correlatie naar voren te komen tussen de strandbreedte en de duinaangroei. Over het algemeen leidt een strandbreedte van 200 meter of meer tot een grotere snelheid van aangroei van het duin. Het beeld wordt echter wel verstoord door de strandsuppleties die in de beschouwde periode zijn uitgevoerd. Op grond van dit onderzoek, en tevens op grond van literatuuronderzoek is verondersteld dat met het verbreden van het strand de natuurlijke duinontwikkeling met een factor 3 wordt versneld.

Effect scheepvaartgeulen

De alternatieven hebben **nauwelijks invloed** op het langstransport bij Scheveningen. Bij alle alternatieven wordt een stranduitbreiding uitgevoerd, waarbij het profiel zeewaarts verschuift. Bij de alternatieven Verhoogde duinen en Zeewaarts schuift het profiel niet zeewaarts ter hoogte van de havendam. Bij deze alternatieven wordt daarom geen toename van de aanzanding in de geul verwacht.

Bij het alternatief Royaal Zeewaarts verschuift het profiel met zo'n 300 meter; dit is 60% van de havendamlengthe. Hierdoor komt een groter deel van het langstransport over de zuidelijke havendam. Dit kan tot **significante toename van aanzanding in de toegangsgedul** leiden.

De bovenstaande redenering geldt voor een evenwichtssituatie die straks ontstaat. Tijdens de uitvoering zal vanwege zandwinning en suppletie aanzienlijk meer sediment in de actieve zone



DHV BV
H+N+S landschapsarchitecten
Alterra

aanwezig zijn. Hierdoor kan tijdelijk een toename van langstransport optreden. In deze periode zal dan ook meer zand in de toegangseul van Scheveningen worden afgezet.

1 ZWAKKE SCHAKEL DELFLANDSE KUST

1.1 Zwakke Schakel

In 2002 is de Strategische Kustvisie 2050 [Provincie Noord-Holland en Zuid-Holland, 2002] uitgebracht. Deze visie ging er vanuit dat de kust de komende tijd voldoende veilig is. Vervolgens is gebleken dat de golfbelasting op de kust groter is dan werd aangenomen. Met behulp van veiligheidsanalyses die met deze verzwaarde randvoorwaarden zijn uitgevoerd is geconstateerd dat delen van de Noordzeekust binnen een termijn van vijftig jaar niet meer voldoen aan de gestelde veiligheidseisen. Deze delen zijn als Zwakke Schakels langs de Noordzeekust aangewezen. De delen van de Noordzeekust die binnen een termijn van twintig jaar niet meer voldoen aan de veiligheidseisen worden prioritaire Zwakke Schakels genoemd. Eén van deze prioritaire Zwakke Schakels is de Delflandse kust, gelegen tussen Hoek van Holland en Scheveningen.

Voor de (prioritaire) Zwakke Schakels worden verbeteringsplannen opgesteld die vooraf gegaan worden door het doorlopen van een planstudie waarin structurele en breed gedragen oplossingen worden verkend voor de verbetering van veiligheid en ruimtelijke kwaliteit.

1.2 Veiligheidsopgave Delflandse kust

Kenmerken Delflandse kust

De Delflandse kust, die grotendeels bestaat uit duinen, is ongeveer 15 km lang en strekt zich uit van Hoek van Holland tot aan de Westduinen ten noorden van Kijkduin. Kenmerkende plaatsen in dit deel van de kust zijn onder andere de badplaats Kijkduin, het kustdorp Ter Heijde en de Van Dixhoorndriehoek.

Duinen als waterkering

De Delflandse kust bestaat grotendeels uit duinen die op deze locatie de primaire waterkering vormen. Tijdens een storm verandert het dwarsprofiel van het duin doordat een deel van het duin afslaat waarbij het zand wordt getransporteerd naar het strand en de vooroever. Er moet onder ontwerpcondities een minimaal profiel overblijven om het water te kunnen keren. Zolang het duin breed en sterk genoeg is levert het afslaan van het zand tijdens storm geen problemen op voor de veiligheid.

Opdat ook in de toekomst met het stijgen van de zeespiegel en verzwarende van het golfklimaat aan de veiligheidsnorm tegen overstromen kan worden voldaan heeft het Hoogheemraadschap van Delfland aan de landzijde van de zeewering ruimte gereserveerd om de kering op termijn te kunnen versterken.

Waterkerende elementen

De situatie bij Ter Heijde en Solleveld is afwijkend aangezien hier een harde duinvoetverdediging in de duin aanwezig is.

De oorspronkelijke duinvoetverdediging is in 1964 verzwaard tussen 111,25 km - 112,20 km en tegelijkertijd verhoogd tot NAP + 9,1 meter. Eind jaren '80 is de duinvoetverdediging tussen

111,18 km - 112,17 km nogmaals versterkt, waarbij de teen van de bestaande duinvoetverdediging is doorgetrokken tot NAP - 1,0 meter.

De duinvoetverdediging ter hoogte van Ter Heijde en Solleveld bestaat uit breuksteen en een damwandscherm (een volledige beschrijving van de duinvoetverdediging is opgenomen in hoofdstuk 2).

Veiligheidsnorm Delflandse kust

De wettelijke veiligheidsnorm waar primaire keringen aan moeten voldoen wordt uitgedrukt in een kans op een overschrijding van een waterstand. Voor de primaire kering van de Delflandse kust geldt een veiligheidsnorm van 1:10.000 per jaar.

Uit uitgevoerde veiligheidsberekeningen is gebleken dat voor de komende periode van 50 jaar (planperiode) niet voldoende zand aanwezig is in de duinen langs de Delflandse kust om een superstorm met een overschrijdingskans van 1:10.000 per jaar veilig te kunnen weerstaan. Bij een dergelijke superstorm is een waterstand van ca NAP 5,2 m (Toetspeil) te verwachten met een golfhoogte van circa 8,5 meter. Daarnaast moet rekening gehouden worden met de invloed van de verwachte zeespiegelstijging. Als gevolg van de zeespiegelstijging zal de afslaglijn verder landinwaarts verplaatsen.

Bij het bepalen van duinafslag wordt gebruik gemaakt van het rekenpeil in plaats van het toetspeil. Hierbij is van belang om op te merken dat er voor duinen een zeer wezenlijk verschil bestaat tussen de overschrijdingskans van de waterstand en de faalkans van de afslagzone. In principe is de overschrijdingskans van een willekeurig punt in het duinprofiel te bepalen. Conform leidraad zandige kust geldt dat de doorbreekkans van een juist voldoende veilig duin een factor 10 kleiner is dan de overschrijdingskans van de gehanteerde waterstand (rekenpeil). Voor de vaststelling van de landwaartse begrenzing van de afslagzone welke een faalkans heeft van 1 : 5.000 per jaar moet derhalve gebruik gemaakt worden van een rekenwaarde van de waterstand welke een overschrijdingskans heeft van 1 : 500 per jaar. Anderzijds leidt de zogenaamde 1 : 500 conditie tot een afslaglijn welke met een kans van 1 : 5.000 per jaar wordt overschreden. Voor de 1:10.000 conditie (de norm) wordt op deze wijze een afslagpunt gevonden welke met een kans van 1:100.000^e per jaar zal worden overschreden.

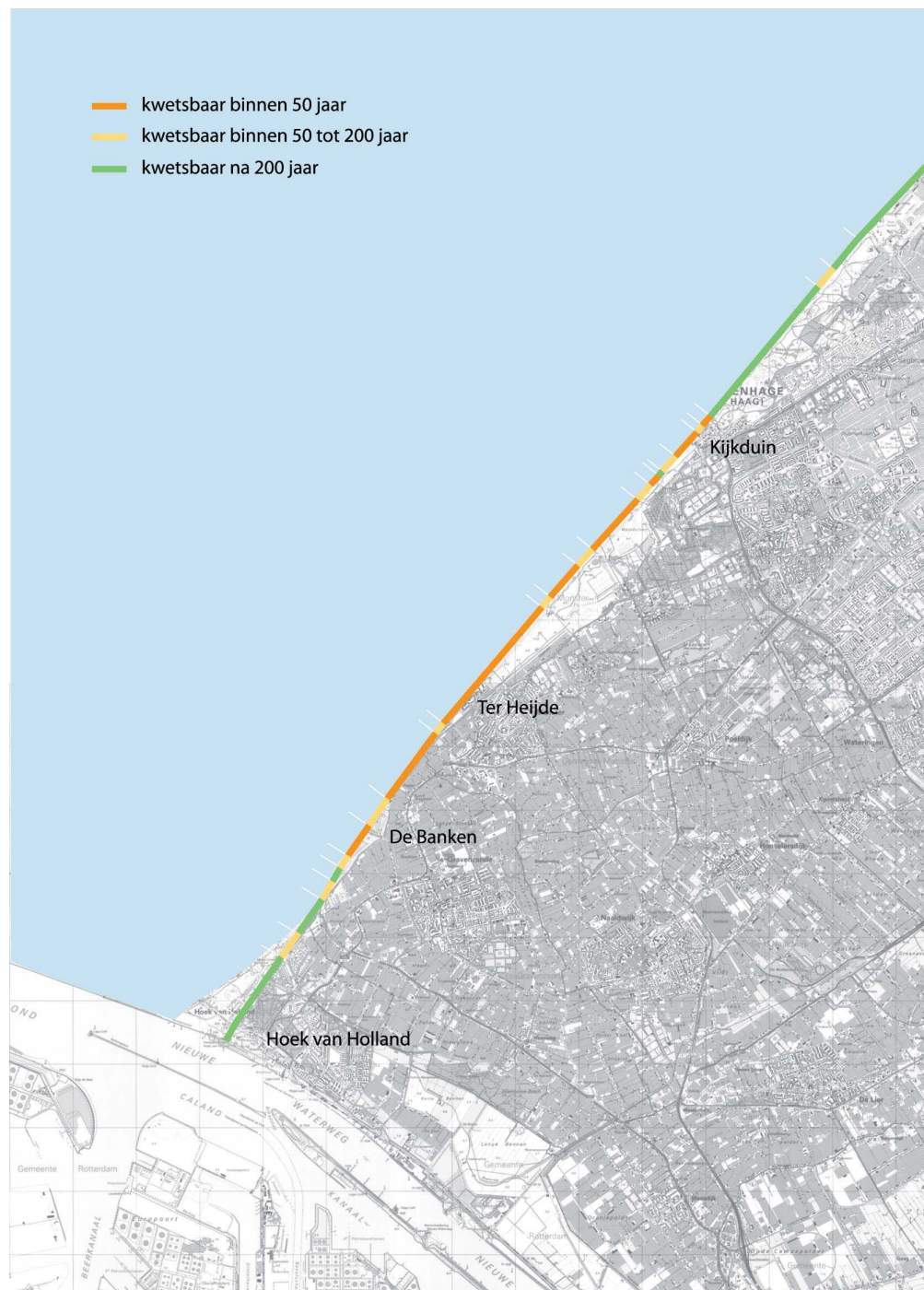
In het voorliggende rapport worden de beide uitwerkingen respectievelijk uitgeduid met "1 : 10.000 condities" en "1 : 500 condities", ofschoon daarmee dus feitelijk de 1 : 100.000 en 1 : 5.000 afslaglijn wordt bedoeld.

De gebruikte randvoorwaarden voor het vaststellen van de veiligheidsopgave en het opstellen van de ontwerpen zijn weergegeven in Tabel 2-1 (duinen) en Tabel 2-2 (harde elementen).

Veiligheid Delflandse kust

Het Hoogheemraadschap van Delfland heeft naar aanleiding van nieuwe inzichten in de golfbelasting een beheerdersoordeel (2003) opgesteld. Hieruit is gebleken dat het kustvak 's-Gravenzande - Kijkduin binnen een termijn van vijftig jaar niet meer voldoet aan de gestelde veiligheidseisen. Uit uitgevoerde veiligheidsberekeningen blijkt dat de duinvoetverdediging bij Ter Heijde en Solleveld in de huidige staat bij maatgevende condities geen bijdrage levert aan de veiligheid en dus niet voldoet (zie hoofdstuk 2). In 2003 en 2004 is op grond van dit beheerdersoordeel twee miljoen kubieke meter zand aangebracht tussen Ter Heijde en Kijkduin.

Door het uitvoeren van deze zogenaamde 'no-regret' zandsuppleties (veiligheidsmaatregelen die niet binnen afzienbare termijn 'achterhaald' worden door ruimtelijke ontwikkelingen) is de Delflandse kust ook op dit moment veilig.



Afbeelding 1-1 Veiligheidsopgave Delflandse Kust (op basis van ontwerpandvoorwaarden)

Structurele maatregelen zijn echter noodzakelijk om de veiligheid ook op lange termijn te waarborgen. De zwakste delen van de Delflandse kust betreffen het traject met de smalle zeereep tussen de Van Dixhoorndriehoek en Solleveld, de lage duinen van Solleveld en de badplaats Kijkduin. In Afbeelding 1-1 wordt een overzicht gegeven van de op termijn kwetsbare plekken langs de Delflandse kust. Versterking van deze delen van de waterkering is noodzakelijk. Deze versterking kan op verschillende wijzen worden uitgevoerd; drie alternatieven worden in het MER vergeleken en afgewogen.

Onderhoud en veiligheid

Het onderhouden van de kust en de veiligheid hangen nauw met elkaar samen. Per saldo vindt een netto zand transport plaats langs de Delflandse kust van zuid naar noord. Een gradiënt in het kustlangs transport resulteert plaatselijk in het optreden van aanzanding en erosie. De Noorderdam ten zuiden van de Van Dixhoorndriehoek houdt nagenoeg al het zand tegen. Hierdoor treedt een landwaartse verschuiving van de kustlijn op als er niet voldoende zand gesuppleerd wordt. Daarom vinden er periodiek zandsuppleties plaats om een structurele achteruitgang van de kustlijn teniet te doen.

Bij het formuleren van de versterking strategieën blijven zandsuppleties dus van belang. Bij zeewaartse alternatieven moet er een nieuwe basiskustlijn worden vastgesteld en zal de verder zeewaartse ligging van deze kustlijn onderhouden worden. Door het eventueel extra aanbrengen van zand is het mogelijk om de natuurlijke aangroei van duinen te bevorderen. Daarnaast vormt een voldoende duurzaam kustfundament de basis voor veilige duinen. Dit kustfundament omvat de vooroever tot aan dieper water (NAP -20 meter).

1.3 Duincompensatie opgave

De aanleg van de Tweede Maasvlakte heeft effecten op beschermde natuurgebieden. Deze effecten kunnen niet volledig worden voorkomen en moeten daarom worden gecompenseerd. Een groot deel van deze compensatie vindt voor de Delflandse kust plaats. Het gaat daarbij om de aanleg van droge grijze duinen en een vochtige duinvallei. Vanuit de Europese wetgeving is aangegeven dat de natuurcompensatie gelijktijdig met de Tweede Maasvlakte moet worden aangelegd, zodat de compensatie gerealiseerd is op het moment dat de effecten van de Tweede Maasvlakte manifest worden. Dit is naar verwachting ongeveer 20 jaar na aanleg van de Tweede Maasvlakte.

De duincompensatie dient in de integrale planstudie onderdeel te zijn van de referentiesituatie. In alle alternatieven die in het kader van dit MER zijn onderzocht zal de duincompensatie een plek moeten krijgen.

1.4 Alternatieven

In de startnotitie zijn drie mogelijke alternatieven weergegeven die de Delflandse kust kunnen versterken en daarmee het veiligheidsprobleem voor de komende 50 jaar oplossen. Binnen deze drie alternatieven zijn tevens varianten mogelijk. Het overzicht van de alternatieven en varianten is als volgt:



- **Verhoogde duinen:** de duinen worden verhoogd en landschappelijk ingepast op de plaatsen waar het volume van het duin onvoldoende is om in veiligheid te kunnen voorzien.
 - ◇ Variant met harde kering bij Kijkduin, Ter Heijde en Solleveld
 - ◇ Variant met zachte oplossing bij Kijkduin, Ter Heijde en Solleveld
- **Zeewaarts verbreden:** zand wordt zeewaarts van de bestaande duinen aangelegd in de vorm van een extra duinenrij. Hierdoor ontstaat een breder duingebied en de kustlijn wordt strakgetrokken zodat een onderhoudsarmere kustboog ontstaat.
- **Royaal zeewaarts verbreden:** dit alternatief is gebaseerd op het alternatief Zeewaarts verbreden, het alternatief wordt echter royaler vormgegeven.
 - ◇ Variante met strandvlakte
 - ◇ Variant met voorduinlandschap

Naast de alternatieven wordt het referentiealternatief beschouwd.

- **Referentiealternatief:** dit alternatief is geformuleerd als afwegingskader en komt overeen met de autonome ontwikkeling. De huidige situatie met het uitvoeren van strandsuppleties om de BKL te handhaven wordt voortgezet en de duincompensatie vanuit PMR wordt gerealiseerd. Het alternatief voldoet niet aan de beoogde veiligheid van 50 jaar.

Een duincompensatie voor het Project Mainport Rotterdam, de Tweede Maasvlakte (PMR), maakt deel uit van alle vier de alternatieven.

- **PMR duincompensatie:** Dit houdt in dat een nieuw duingebied wordt aangelegd met een duinvallei. De locatie voor deze duincompensatie is zodanig gekozen dat gezamenlijk met de versterking van de Delflandse kust een strakke kustlijn kan worden gerealiseerd.
Bij het alternatief Royaal zeewaarts verbreden is het ontwerp van de duincompensatie afwijkend van het ontwerp voor de overige alternatieven. De afmetingen van de duincompensatie zijn vanwege de verder zeewaarts gelegen kustlijn ruimer bij Royaal zeewaarts verbreden.

1.5 Doel waterbouwrapport

Het doel van het voorliggende waterbouwrapport is tweeledig: het dient als onderbouwing van zowel het MER als het verbeteringsplan en duincompensatieplan. Het waterbouwrapport is een achtergronddocument bij het MER. Voor informatie over de procedure, startnotitie en richtlijnen wordt verwezen naar het MER.

Ter onderbouwing van het MER worden in dit rapport de resultaten van de uitgevoerde onderzoeken met betrekking tot veiligheid en morfologie gepresenteerd. De resultaten en conclusies van deze onderzoeken zijn gebruikt om tot een ontwerp te komen, effecten te beschrijven en daarmee een goede afweging te kunnen maken tussen de verschillende alternatieven.

Ter onderbouwing van het verbeteringsplan, dat opgesteld wordt voor het voorkeursalternatief, worden in dit rapport de resultaten van de morfologische en veiligheidsonderzoeken getoond. Deze resultaten zijn gebruikt om tot een zo goed mogelijk ontwerp van het voorkeursalternatief te kunnen komen en om na te gaan of het beoogde ontwerp aan de ontwerpeisen voldoet en dus voldoende veilig is.

1.6 Leeswijzer

Voor de versterking van de Delflandse kust wordt een verbeteringsplan opgesteld met daarbij behorend een MER waarin de keuze van het voorkeursalternatief wordt afgewogen en beoordeeld. In het MER wordt de aanleg van het duincompensatiegebied als autonome ontwikkeling verondersteld. Voor het duincompensatiegebied wordt een apart ontwerpplan opgesteld.

In het kader van het opstellen van het MER versterking Delflandse kust en voor de onderbouwing van het duincompensatieplan is een aantal technische waterbouwkundige analyses uitgevoerd. Deze analyses hebben deels geresulteerd in de alternatieven en vormen de onderbouwing van de ontwerpen. In dit achtergronddocument zijn deze technische waterbouwkundige analyses gebundeld in één rapportage.

De volgende analyses zijn geïntegreerd in deze rapportage:

- In hoofdstuk 2 wordt de **veiligheidssituatie** van de Delflandse kust geschetst, waaruit de **veiligheidsopgave** van de Delflandse kust blijkt.
- De morfologische analyse die is uitgevoerd staat beschreven in hoofdstuk 3. Hierin wordt beschreven hoe de Delflandse kust zich heeft ontwikkeld en zich naar verwachting in de toekomst zal ontwikkelen (de autonome ontwikkeling). Op basis van de autonome ontwikkeling wordt het referentiealternatief geformuleerd. Voor dit referentiealternatief en de verschillende alternatieven wordt op basis van de morfologische analyse bepaald wat de verwachte onderhoudsbehoefte van de kust zal zijn in de toekomst. De morfologische effecten van de alternatieven staan tevens in dit hoofdstuk beschreven.
- Bij het opstellen van de alternatieven speelt naast de veiligheidsopgave tevens de morfologische en landschappelijke inpassing een rol. Een beschrijving van de genomen stappen om vanuit de veiligheidsopgave te komen tot de verschillende alternatieven is opgenomen in hoofdstuk 4.
- Een overzicht van de belangrijkste effecten ten aanzien van veiligheid en morfologie zijn ten behoeve van het MER weergegeven in hoofdstuk 5.
- Het voorkeursalternatief wordt verder uitgewerkt in hoofdstuk 6. Daarin komt de nieuwe indicatieve ligging van de basiskustlijn aan bod. Voor het Voorkeursalternatief zijn vervolgens met de ontwerprandvoorwaarden voor 50 jaar de afslaglijnen opnieuw bepaald, dit is tevens een impliciete check of het ontwerp voldoet aan de gestelde eisen. Daarnaast zijn berekeningen uitgevoerd om een eerste indicatie te geven van de omvang van de toekomstige reserveringszone. Voor enkele delen van de kust zijn vervolgens nog risico berekeningen uitgevoerd.

2 VEILIGHEIDSOPGAVE

2.1 Inleiding

Om een goed ontwerp voor de verschillende alternatieven op te kunnen stellen is het van belang inzicht te hebben in de huidige en de toekomstige ontwikkeling in de veiligheidsopgave voor de Delflandse kust.

Om dit inzicht te verkrijgen zijn veiligheidsberekeningen uitgevoerd, een uitgebreide beschrijving van de resultaten van de veiligheidsberekeningen is opgenomen in bijlage 3.

De berekeningen zijn uitgevoerd ten behoeve van het opstellen van een ontwerp voor de alternatieven, er is derhalve gebruikt gemaakt van ontwerpvoorwaarden behorende bij een planperiode van 50 jaar. Tevens is inzichtelijk gemaakt wat de consequenties zijn van andere klimaatscenario's en wat de ontwerpogave wordt op de langere termijn (100 en 200 jaar).

Afbeelding 2 geeft een overzicht van de zwakke plekken langs de Delflandse kust, hierbij zijn ook de plekken aangegeven die op langere termijn niet meer zullen voldoen aan de veiligheid.

Naast berekeningen voor het inzichtelijk maken van de zwakke plekken zijn berekeningen uitgevoerd voor het bepalen van de voor de veiligheid benodigde versterking voor de verschillende alternatieven.

Dit hoofdstuk geeft een overzicht van de uitgangspunten, gehanteerde methodieken en resultaten van de uitgevoerde berekeningen. Een uitgebreide beschrijving, waarbij de resultaten per raai gepresenteerd worden, is opgenomen in bijlage 3. De resultaten zijn vervolgens gebruikt voor het opstellen van de alternatieven. Bij het opstellen van de alternatieven speelt naast de veiligheidsopgave tevens de morfologische en landschappelijke inpassing een rol. Een beschrijving van de genomen stappen om vanuit de veiligheidsopgave te komen tot de verschillende alternatieven is opgenomen in hoofdstuk 4.

2.2 Toegepaste methodiek

Inleiding

Voor het berekenen van duinafslag bij zandige profielen is gebruik gemaakt van de, op [TAW, 1984] gebaseerde, Alkyon-rekenroutine voor Duinafslag. Deze routine is mede ontwikkeld in het kader van een RIKZ-opdracht om de effecten van gewijzigde randvoorwaarden voor de gehele Nederlandse kust in kaart te brengen en is ook gebruikt voor het zogenaamde VNK-rekeninstrumentarium (programma PC-RING; project Veiligheid van Nederland in Kaart). De met dit model verkregen resultaten komen (bij gelijke uitgangspunten) overeen met die van het bij verschillende waterschappen in gebruik zijnde WINKUST-model.

Voor afslag bij (deels) verharde profielen is gebruik gemaakt van Durosta.

Duinafslag

Voor de berekening van duinafslag bij een volledig zandig profiel is de rekenmethodiek volgens de Leidraad voor de beoordeling van de veiligheid van duinen als waterkering toegepast. Deze methodiek is geldig voor ontwerpcondities met een golfpiekperiode van 12 seconden. De

verzwaarde randvoorwaarden hebben echter betrekking op een toename in de golfperiode. Voor de Delflandse kust bedraagt deze 13,7 tot 14,4 s in plaats van de thans gebruikelijke 12,0 s.

Omdat de golfperiode geen directe rol speelt in het huidige (oorspronkelijke) rekenmodel voor duinafslag [TAW, 1984] wordt dit effect (conform de eerdere beheerdersoordelen in 2003) in rekening gebracht door uit te gaan van een voorgeschreven toename in de mate van duinafslag. Deze toename is gerelateerd aan de relatieve toename in de golfperiode en varieert voor de Delflandse kust van 35% (bij Hoek van Holland) tot orde 40% bij Scheveningen.

In de rekenmethodiek wordt het extra percentage afslag in rekening gebracht door het verkleinen van de rekenkorrelgrootte. Een verkleining van de rekenkorrelgrootte leidt tot een flauwer afslagprofiel en daardoor tot meer afslag.

Ontgrondingen bij harde constructies

Het ontstaan van ontgroning bij de teen van een harde constructie is een tijdsafhankelijk proces. De diepte van de ontgrondingskuil zal geleidelijk groter worden en uiteindelijk zal een evenwicht ontstaan. Aangezien de rekenmethodiek volgens de leidraad alleen geschikt is voor profielen die volledig uit zand bestaan, is voor het bepalen van afslag bij (deels) verharde profielen een andere rekenmethodiek nodig. Voor het simuleren van de ontwikkeling van een ontgrondingskuil zal het model DUROSTA worden toegepast. Dit model simuleert de afslag in een profiel als functie van tijd.

2.3 Randvoorwaarden en uitgangspunten veiligheidsberekeningen

Hydraulische randvoorwaarden

Voor het toetsen op veiligheid van de waterkeringen worden elke 5 jaar de te hanteren randvoorwaarden onder ontwerpomstandigheden (1/10.000) bepaald. Deze randvoorwaarden worden samengebracht in het Hydraulische Randvoorwaardenboek. De meest recente versie is van 2001, deze zal dan ook als basis dienen voor de veiligheidsberekeningen.

Als gevolg van nieuwe inzichten (2002/2003) is discussie ontstaan omtrent de juistheid van de hydraulische randvoorwaarden. Vooral de te hanteren golfperiode is een punt van discussie. Op basis van metingen is geconcludeerd dat de golfperioden uit het randvoorwaardenboek te kort zijn. In DWW-2003-040 is een overzicht gegeven van de verzwaarde randvoorwaarden welke waarschijnlijk beter aansluiten bij de werkelijkheid. Deze verzwaarde randvoorwaarden zullen dan ook gebruikt worden voor de veiligheidsberekeningen.

In onderstaande twee tabellen wordt samenvattend weergegeven welke randvoorwaarden zijn gehanteerd voor de berekeningen bij duinen en bij harde constructies.

	Hydraulische ontwerp randvoorwaarden duinen				
		Aanleg; ontwerpaspecten			Ruimtelijke reservering
	Huidige randvoorwaarden	Ontwerp 50 jaar Scenario I recept + aanvulling	Duurzaamheid 50 jaar ¹ Scenario II onzekerheden	Duurzaamheid 100 jaar ¹ Scenario III uitbreidbaarheid	Duurzaamheid 200 jaar Scenario IV ruimtelijke reservering
Basis uitgangspunt	Rekenpeil (ca. 5.70 m +NAP)	Rekenpeil + LZK midden scenario	Rekenpeil + LZK maximum scenario	Rekenpeil + LZK max scenario	Rekenpeil + LZK max scenario
Zeespiegel stijging	0	+30 cm	+45 cm	+85 cm	+170 cm
Toename golfhoogte	0	0	5%	5%	5%
Toename golfperiode ²	0	0	2,5%	2,5%	2,5%
Toename opzet	0	0	+40 cm	+40 cm	+40 cm
Lengte-effect dijkring toeslag	+30 cm	+30 cm	+30 cm	+30 cm	+30 cm
Toename rekenpeil	+30 cm	+60 cm	+115 cm	+155 cm	+240 cm

1) Worden voor zachte oplossingen niet verder uitgewerkt in MER

2) uitgegaan wordt van de langere golfperiode zoals vastgesteld in 2002/2003

Tabel 2-1: Samenvatting hydraulische ontwerp randvoorwaarden voor duinen

Een overzicht van de gebruikte raaiafhankelijke randvoorwaarden, waaronder de gebruikte korreldiameter, jaarkeuze van jarkusmeeting en significante golfhoogte, is opgenomen in bijlage 1.

Golfperiode

Per individuele kustrai is de afslagtoename vastgesteld door uit te gaan van de voor de beheerdersoordelen voorgeschreven mutaties in de golfperiode. Relevante golfperioden zijn in dit geval: Scheveningen (km 97.50) met $T_p = 14,4$ s en Hoek van Holland (km 118.50) met $T_p = 13,7$ s. Per kustrai is de te gebruiken T_p -waarde door interpolatie vastgesteld.

Stormduur

Het ontstaan van ontgrondingskuilen bij harde constructies is een tijdsafhankelijk proces. Naarmate een storm langer aanhoudt, zal bij de teen van een constructie een grotere ontgrondingskuil ontstaan. In het Voorschrift Toetsen op Veiligheid is een ontwerpstormduur van 35 uur vastgesteld. In eerste instantie is ervoor gekozen om ook voor de

ontwerp randvoorwaarden uit te gaan van een stormduur van 35 uur. Om de gevoeligheid van de ontwerpstormduur op het uiteindelijke ontwerp te bepalen, zullen ook selectief berekeningen worden uitgevoerd met een langere stormduur.

Bij het bepalen van de afslagprofielen van de duinen speelt de stormduur geen rol, het uiteindelijke afslagprofiel is gelijk aan het evenwichtsprofiel bij stormbelasting.

	Hydraulische ontwerp randvoorwaarden harde constructies				
	Huidige randvoorwaarden	Aanleg; ontwerpaspecten			Ruimtelijke reservering
		Ontwerp 50 jaar Berekening I recept + aanvulling	Ontwerp 100 jaar Berekening II uitbreidbaarheid	Duurzaamheid 100 jaar Berekening III onzekerheden	Duurzaamheid 200 jaar Berekening IV ruimtelijke reservering
Basis uitgangspunt	Toetspeil (ca. 5.20 m +NAP)	Toetspeil + LZK midden scenario	Toetspeil + LZK midden scenario	Toetspeil + LZK max scenario	Toetspeil + LZK max scenario
Zeespiegel stijging	0	+30 cm	+60 cm	+85 cm	+170 cm
Toename golfhoogte	0	0	0	+5%	+5%
Toename golfperiode	0	0	0	+2,5%	+2,5%
Toename opzet	0	0	0	+40 cm	+40 cm
Stormduur	Diverse ³⁾	Diverse ³⁾	Diverse ³⁾	Diverse ³⁾	Diverse ³⁾
Buistoten / buioscilaties	+10 cm	+10 cm	+10 cm	+10 cm	+10 cm
Lengte-effect dijkring toeslag	+30 cm	+30 cm	+30 cm	+30 cm	+30 cm
Toename toetspeil	+40 cm	+70 cm	+100 cm	+165 cm	+250 cm

3) Conform recept 35 uur en vervolgens afhankelijk van de keuze voor het voorkeursalternatief een gevoeligheidsonderzoek conform voorstel Alkyon;

- 10 maal de stormopzet (in meters), overeenkomend met ca. 50 uur;
- 20 maal de stormopzet (in meters), overeenkomend met ca. 100 uur;
- 40 maal de stormopzet (in meters), overeenkomend met ca. 200 uur.

Tabel 2-2: Samenvatting hydraulische ontwerp randvoorwaarden voor harde constructies

Dwarsprofielen

Bij de veiligheidsberekeningen wordt uitgegaan van de zogenaamde JARKUS-profielen, dit zijn profielen die jaarlijks op een vaste locatie langs de kust worden gemeten van de duintop tot aan de NAP -8 meter contour. Bij de berekeningen wordt de ligging van het afslagpunt in het duin onder maatgevende stormcondities bepaald. De ligging van het afslagpunt hangt af van de

hoeveelheid zand die in het profiel aanwezig is. Voor het bepalen van de benodigde hoeveelheid zand is een JARKUS raai gebruikt waarbij de kustlijn zoveel mogelijk overeenkomt met de basiskustlijn (MKL=BKL). De ligging van de basiskustlijn wordt namelijk door het Rijk gegarandeerd, er kan dus vanuit worden gegaan dat dit profiel altijd minimaal aanwezig is. Het uitgangspunt voor de veiligheidsberekeningen zijn derhalve de raaien waarvan de ligging van de Momentane Kustlijn (MKL) overeenkomt met de Basiskustlijn (BKL). De jaarkeuze voor de verschillende jarkusraaien is opgenomen in bijlage 1.

Bij de verder uitwerking van de omvang van de versterking voor de alternatieven wordt echter uitgegaan van het aanwezige zand in de meest recente JARKUS metingen (2005). De uiteindelijk voor het ontwerp benodigde hoeveelheden aan te brengen zand worden voor deze studie bepaald ten opzichte van deze meest recente situatie. Hiertoe worden de berekende hoeveelheden (behorende bij MKL=BKL) verminderd met het extra aanwezige zand.

Rekenprofielen ter bepaling benodigde versterking

Bij het bepalen van de benodigde hoeveelheid zand land- of zeewaarts van de dwarsprofielen, moet uitgegaan worden van een bepaald aanlegprofiel. Dit aanlegprofiel wordt echter pas uitgewerkt in de ontwerpfasen. Voor de eerste berekeningen van benodigde zandhoeveelheden moeten dus aannames worden gemaakt met betrekking tot het initiele aanlegprofiel.

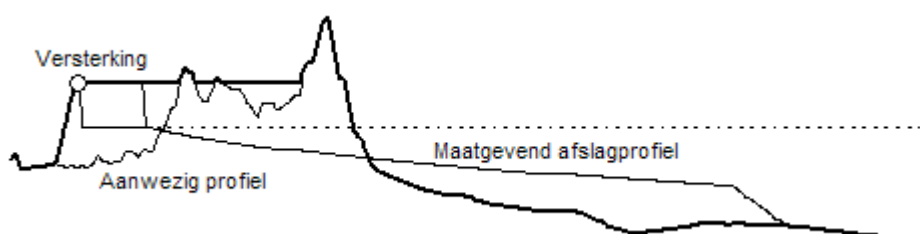
Bij een *zeewaartse versterking* wordt een versterking toegepast op het niveau van het grensprofiel. Indien het eerste duin echter lager is dan het grensprofiel-niveau, wordt een hoogte gelijk aan het eerste duin toegepast. Het gehele dwarsprofiel (tot een diepte van NAP - 5 m) wordt vervolgens in zeewaartse richting opgeschoven. Aan de hand van modelberekeningen wordt bepaald hoever het profiel verschoven dient te worden.

Bij een *landwaartse versterking* wordt uitgegaan van een versterking tot het niveau van het grensprofiel. Dit wordt als volgt bepaald:

$$h_{\text{grensprofiel}} = \text{Rekenpeil} + 0,12 \cdot T_p \cdot H_{\text{sig}}^{0.5}$$

($h_{\text{grensprofiel}}$ = hoogte grensprofiel [m]; T_p = piekperiode [s]; H_{sig} = significante golfhoogte [m])

De benodigde versterking is vervolgens bepaald door landwaarts van dit punt zand aan te vullen tot een hoogte gelijk aan het grensprofiel. Aan de landwaartse zijde hiervan wordt aangesloten op het bestaande profiel door middel van een helling van 1 op 3 (zie afbeelding 2-1)



Afbeelding 2-1: Wijze van bepalen benodigde hoeveelheid bij landwaartse versterking

Klimaatveranderingen

Voor de lange termijn dienen klimaatveranderingen in beschouwing genomen te worden. Een overzicht van de te hanteren scenario's en de vertaling naar de specifieke situatie voor de Delflandse kust is opgenomen in de samenvattende tabellen op de voorgaande pagina.

Lengte-effect / dijkkring-benadering

In overeenstemming met het besluit van het Provinciaal Overleg Kust (POK) wordt een toeslag van 30 cm op de waterstand in rekening gebracht. Dit ter compensatie van het zogenaamde lengte-effect.

Duurzaamheid en uitbreidbaarheid

Bij het ontwerp van de alternatieven wordt in eerste instantie uitgegaan van een periode van 50 jaar (**scenario I** in de tabel). Het ontwerp voor de zachte oplossingen dient de veiligheid op een termijn van 50 jaar te waarborgen. Naast de zachte oplossingen kunnen de alternatieven ook gedeeltelijk bestaan uit harde constructies. Voor het ontwerp van de harde constructies dient uitgegaan te worden van een termijn van 100 jaar.

Om een beeld te krijgen van de duurzaamheid en uitbreidbaarheid van de zachte ontwerpen worden tevens berekeningen uitgevoerd waarbij wordt aangesloten bij een voorstel dat is opgesteld door de Provincie Zuid-Holland:

- (**Scenario II**) Om de maatvoering van een duurzaam ontwerp in beeld te krijgen worden berekeningen uitgevoerd aan de hand van het maximum klimaat scenario voor 50 jaar. Er wordt dus bepaald hoeveel extra zand in het ontwerp nodig is om ook te voldoen aan de veiligheid als de klimaatveranderingen extremer zijn dan waar in eerste instantie rekening mee gehouden is.
- (**Scenario III**) Om de toekomstige benodigde maatvoering in beeld te krijgen worden berekeningen uitgevoerd aan de hand van het maximum klimaat scenario voor 100 jaar. Er wordt dus bepaald hoeveel extra zand in het ontwerp nodig is om ook te voldoen aan de veiligheid op een termijn van 100 jaar, waarbij de klimaatveranderingen extremer zijn dan waar in eerste instantie rekening mee gehouden is.

Ruimtelijke reservering

- (**Scenario IV**) Met betrekking tot de ruimtelijke reservering wordt gekeken naar de benodigde maatregelen na 200 jaar. Hiervoor wordt het maximum klimaat scenario na 200 jaar beschouwd. De resultaten uit deze analyse geven een eerste indruk over de omvang van de vast te stellen reserveringszone. (Hier wordt voor het voorkeursalternatief verder op ingegaan in hoofdstuk 6).

2.4 Veiligheidsberekeningen voor duinen

2.4.1 Berekeningen voor startnotitie en MER fase

Inleiding

De voor deze rapportage uitgevoerde analyses hebben allen betrekking op de MER fase. Een toelichting op resultaten uit eerdere fasen wordt gegeven ter verklaring van verschillen in uitkomsten van de analyses met de startnotitie.

In het kader van de startnotitie van de planstudie Zwakke Schakel Delflandse kust zijn reeds diverse veiligheidsberekeningen uitgevoerd voor de Delflandse kust. Voor de MER fase is in overleg een nieuw rekenrecept opgesteld voor het bepalen van de veiligheidsopgave voor de Nederlandse kust. In het nieuwe rekenrecept zijn de hydraulische ontwerprandvoorwaarden iets gewijzigd op basis van voortschrijdend inzicht. Bij de start van de MER fase zijn daarom de veiligheidsberekeningen nogmaals uitgevoerd voor het nieuwe rekenrecept (POK oktober 2005).

Bij het opstellen van het ontwerp voor de alternatieven worden de uitkomsten van de berekeningen gehanteerd zoals deze tijdens de MER fase zijn uitgevoerd. In deze paragraaf worden de resultaten gepresenteerd van de veiligheidsberekeningen, daarnaast wordt aandacht besteed aan de wijzigingen in de uitkomsten ten opzichte van de startnotitie fase.

De resultaten geven eerst een beeld van de ligging van de zwakke plekken langs de Delflandse kust. Vervolgens wordt ingegaan op de ontwerp-opgave, deze is uitgedrukt in benodigde hoeveelheid zand t.b.v. de versterking per raai. Om de consequenties van de gewijzigde randvoorwaarden in beeld te brengen worden zowel de resultaten voor de MER als startnotitie fase gepresenteerd.

Wijzigingen ten opzichte van startnotitie fase

De ontwerprandvoorwaarden in het nieuwe rekenrecept zoals beschreven in paragraaf 2.3 en bijlage 3 zijn ten opzichte van de berekeningen in de startnotitiefase gewijzigd op de volgende aspecten:

- Er is een dijkkringtoeslag op de waterstand gezet, voor de Delflandse kust is dit 30 cm.
- Een toename van de windsnelheid met 2,5 % resulterend in een toename van de windopzet met 40 cm voor de extreme scenario's.

Behalve andere ontwerprandvoorwaarden, zijn tevens andere alternatieven doorgerekend. In de startnotitiefase zijn voor de Delflandse kust berekeningen uitgevoerd voor de volgende twee alternatieven:

1. versterking landwaarts zodanig dat aan de veiligheidseis wordt voldaan;
2. versterking zeewaarts zodanig dat de afslaglijn wordt geconsolideerd.

De berekeningen in de MER fase zijn uitgevoerd voor drie alternatieven:

1. versterking landwaarts zodanig dat aan de veiligheidseis wordt voldaan;
2. versterking zeewaarts zodanig dat de afslaglijn wordt geconsolideerd;
3. en aanvullend: versterking zeewaarts zodanig dat aan de veiligheidseis wordt voldaan.

Het laatste aanvullende alternatief geeft meer inzicht in de bij een zeewaartse versterking minimaal benodigde hoeveelheid zand per raai. Berekeningen voor deze alternatieven worden uitgevoerd volgens de 4 scenario's zoals beschreven in paragraaf 2.3.

Bij het bepalen van de benodigde hoeveelheden is daarnaast een ander uitgangspunt gehanteerd. Voor de startnotitiefase werd voor de zeewaartse versterkingen uitgegaan van een banket-vormige aanvulling met een vaste helling van het zeewaartse beloop. Bij het opstellen van de ontwerpen voor het MER is uitgegaan van een zeewaartse verschuiving van het bestaande profiel tot aan 5 m -NAP (zie ook paragraaf 2.3)

2.4.2 Zwakke plekken in beeld

De resultaten van de veiligheidsberekeningen zijn reeds gepresenteerd in Afbeelding 1-1, hieruit komt naar voren dat het middelste deel van de Delflandse kust binnen een termijn van vijftig jaar niet meer voldoet aan de gestelde veiligheidseisen. De zwakste delen van de Delflandse kust betreffen het traject met de smalle zeereep tussen de Van Dixhoorndriehoek en Solleveld, de lage duinen van Solleveld en de badplaats Kijkduin. Het Westduinpark (ten noorden van Kijkduin) en de Van Dixhoorndriehoek bij Hoek van Holland voldoet in de huidige situatie aan de veiligheidseisen voor een termijn van 200 jaar. Hierbij zijn de plannen om de waterkering te verleggen naar een verder zeewaarts gelegen locatie, in verband met de realisatie van het Waterwegcentrum, niet meegenomen.

2.4.3 Ontwerpopgave voor de zwakke plekken

Afslagberekeningen

Op de volgende pagina's zijn de resultaten van de afslagberekeningen getoond voor de zandige kust. De resultaten zijn voor zowel de landwaartse als de zeewaartse alternatieven getoond per rekenscenario.

Tabel 2-3 en Tabel 2-4 geven een overzicht van de totale hoeveelheid benodigd zand, de grafieken 2-2 tot 2-5 geven een beeld van de ontwerpopgave per locatie. In de tabellen en grafieken zijn ter vergelijking tevens de resultaten getoond van de berekeningen voor de startnotitiefase.

De voornaamste wijzigingen in de resultaten ten opzichte van de startnotitie zijn:

- De benodigde hoeveelheid zand ter versterking bij de landwaartse en de zeewaartse alternatieven is met circa 10 tot 30 % toegenomen op de locaties waarvoor in de startnotitie ook al versterking nodig was.
- Er zijn diverse locaties bijgekomen waar binnen een termijn van 50 jaar versterking nodig is.
- Uit de resultaten van de afslagberekeningen volgt dat bij Kijkduin binnen 50 jaar een veiligheidsprobleem ontstaat, tijdens de startnotitie werd ervan uitgegaan dat hier alleen sprake was van een risicoprobleem.

De totaal benodigde hoeveelheid zand ter versterking is dus toegenomen, dit is in onderstaande tabel getoond voor scenario I (ontwerp) en scenario IV (ruimtereservering). In tabel 2-3 zijn ook de resultaten van de startnotitiefase berekeningen getoond.

Alternatief	Sc. I: 50 jaar midden [hoeveelheden in miljoen m ³]		Sc. IV: 200 jaar max [hoeveelheden in miljoen m ³]	
	Startnotitie	MER	Startnotitie	MER
Zeewaarts consolidatie (hele kust)	11,5	14,1	20,9	27,0
Landwaarts veiligheid	1,1	1,8	3,6	4,9

Tabel 2-3 Benodigde zandhoeveelheden voor de versterking voor scenario I en IV in startnotitiefase en de MER fase

Zoals eerder opgemerkt zijn voor de startnotitie geen berekening uitgevoerd voor het alternatief zeewaarts veiligheid. Een goede vergelijking is dan ook niet te maken.

Om toch een idee te krijgen over de impact van de gewijzigde randvoorwaarden op het alternatief zeewaarts veiligheid wordt gebruik gemaakt van de berekeningen voor het bepalen van de zeewaartse versterking voor het consolideren van de afslaglijn. Bij de hoeveelheden weergegeven in

Tabel 2-3 wordt uitgegaan van het consolideren van de afslaglijn voor de gehele Delflandse kust, dus ook voor de delen die geen veiligheidsopgave binnen 50 jaar kennen. In Tabel 2-4 zijn de resultaten van de consolidatie berekeningen gepresenteerd waarbij alleen gekeken wordt naar het zand dat benodigd is voor locaties met een veiligheidsopgave binnen 50 jaar.

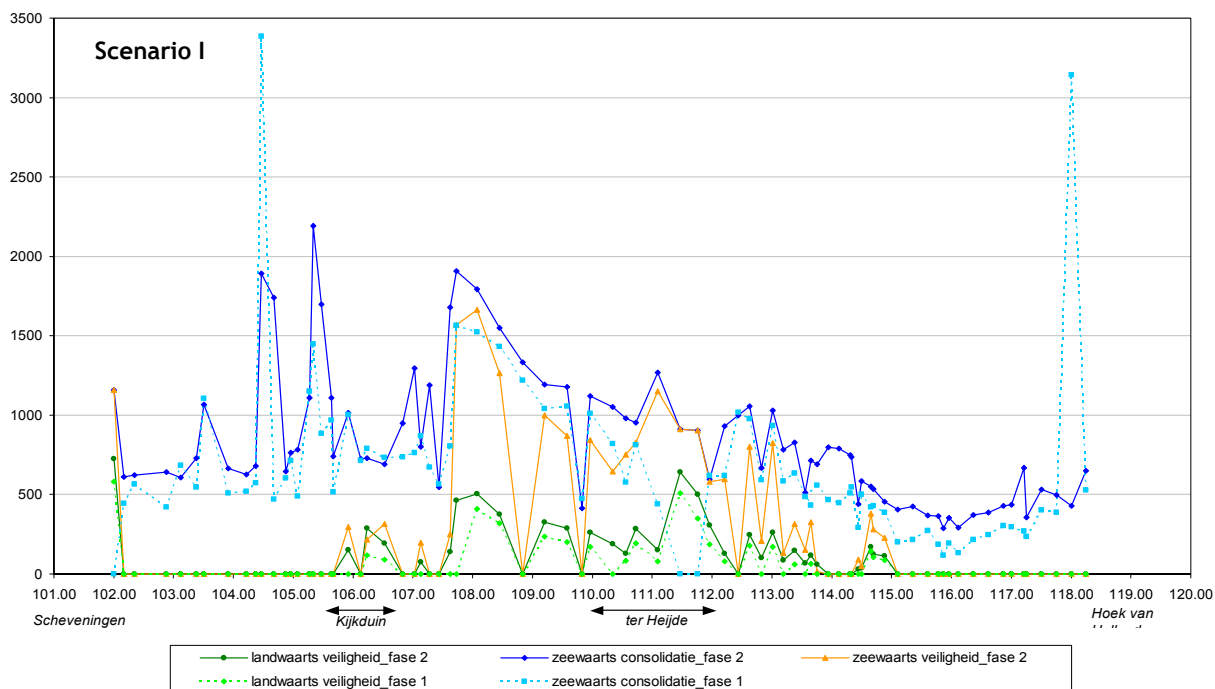
Alternatief	Sc. I: 50 jaar midden [hoeveelheden in miljoen m ³]		Sc. IV: 200 jaar max [hoeveelheden in miljoen m ³]	
	Startnotitie	MER	Startnotitie	MER
Zeewaarts consolidatie, op raaien waar versterking nodig is	6,5*	7,2	11,0*	18,5
Zeewaarts veiligheid	n.a.	5,0	n.a.	15,6

*exclusief 2 raaien Ter Heijde welke niet in deze berekeningen waren meegenomen

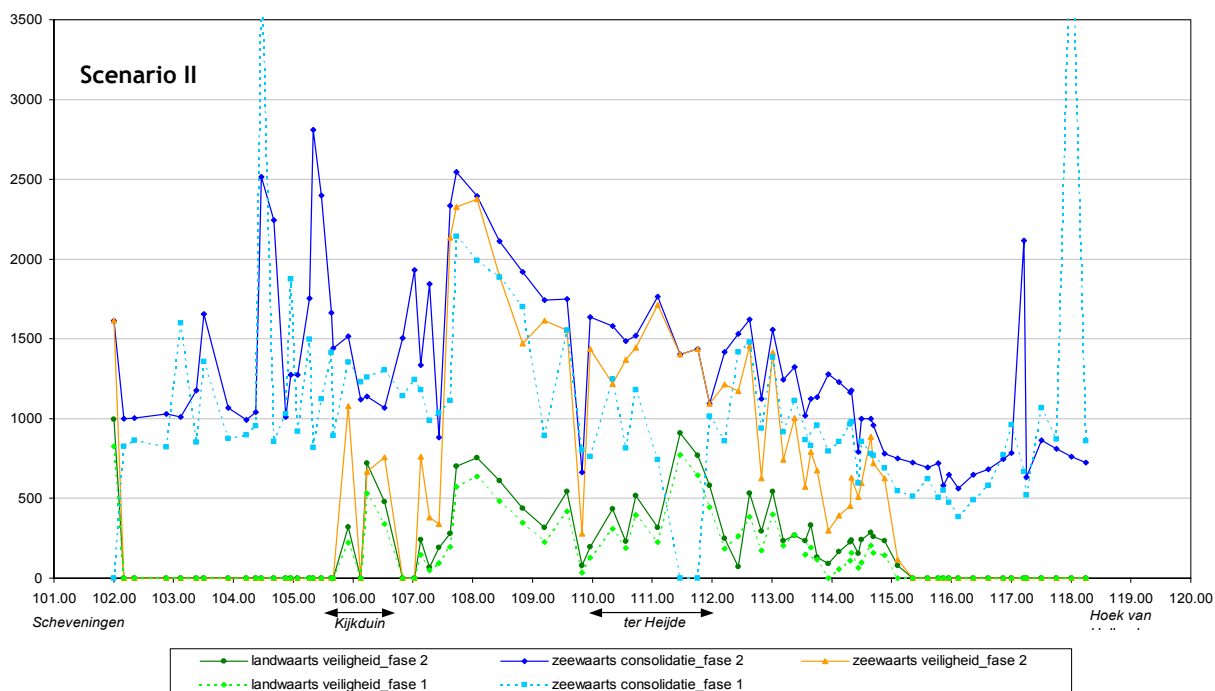
Tabel 2-4 Verschil in benodigde zandhoeveelheden ter plaatse van raaien waar versterking nodig is

Tabel 2-4 geeft tevens weer dat voor een zodanige zeewaartse verbreding dat aan de veiligheidseisen wordt voldaan aanzienlijk minder zand nodig is dan voor een verbreding waarbij de afslaglijn geconsolideerd wordt.

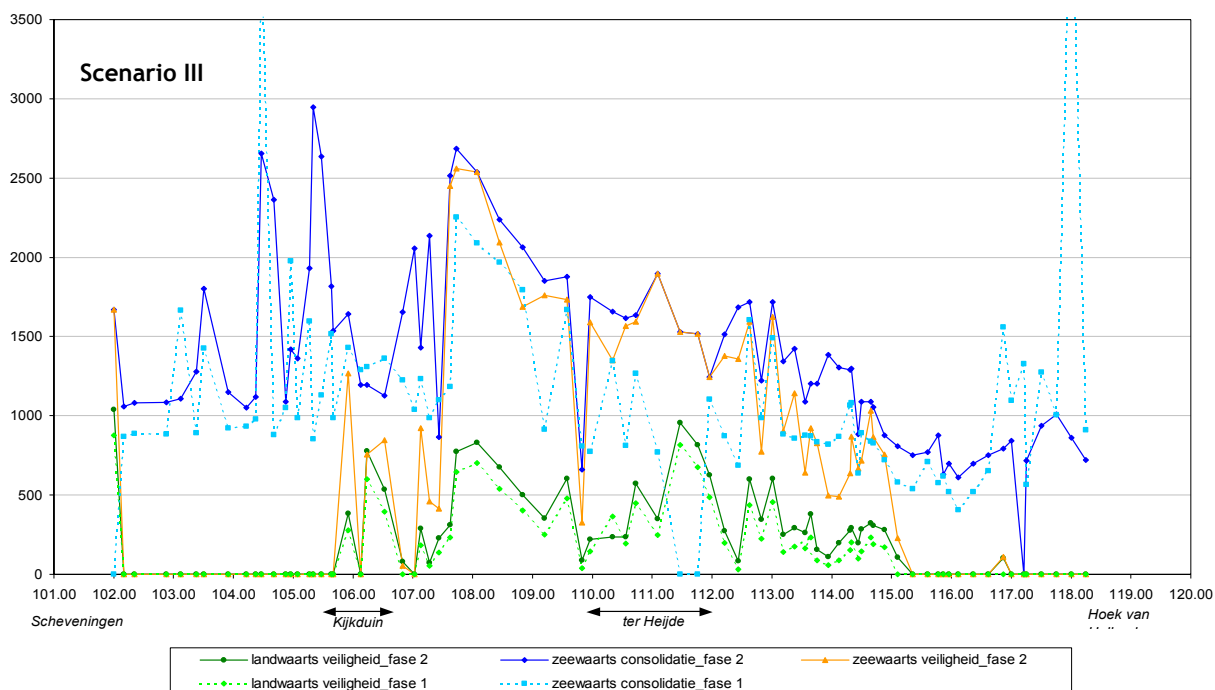
Het verschil tussen de benodigde hoeveelheid ter consolidatie en de benodigde hoeveelheid voor de veiligheid (verschil donkerblauwe lijn - oranje lijn in de grafieken) varieert van 0 tot meer dan 50 %. (zie figuur 2-2 tot en met 2-5).



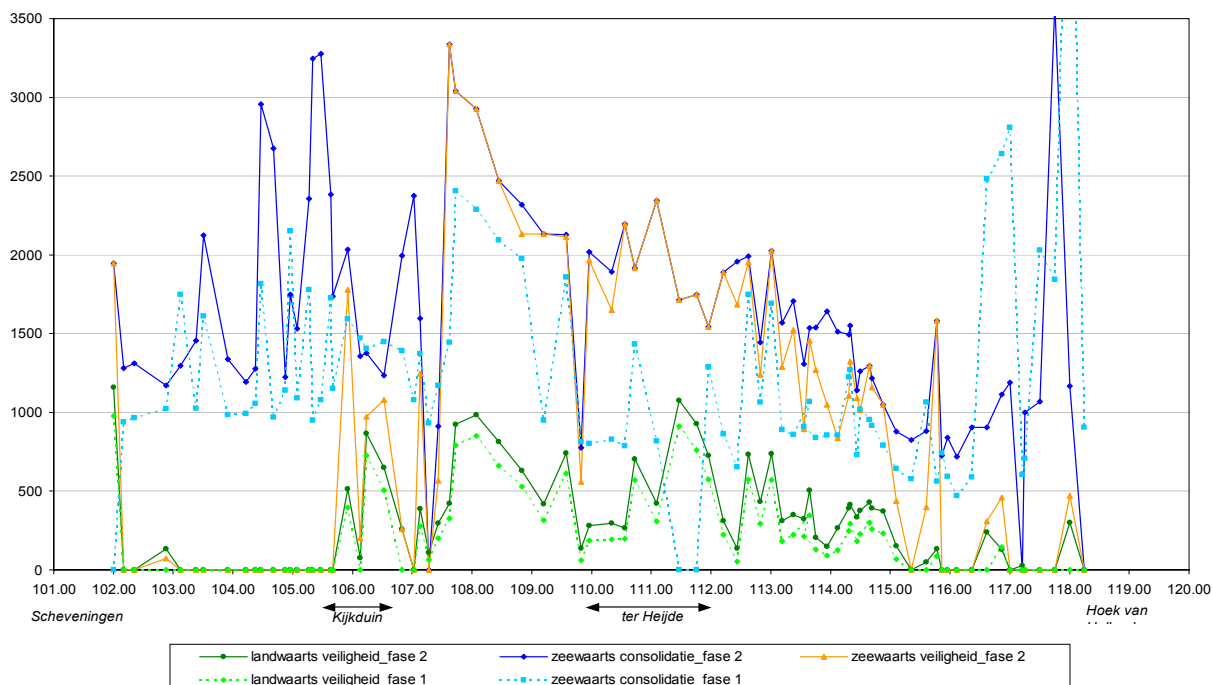
Afbeelding 2-2: Resultaten afslagberekeningen fase 1 en 2 [hoeveelheden in m^3/m]; Scenario I: 50 jaar, midden klimaatscenario (ontwerp)



Afbeelding 2-3: Resultaten afslagberekeningen fase 1 en 2 [hoeveelheden in m^3/m]; Scenario II: 50 jaar, maximum klimaatscenario (ontwerp robuust)



Afbeelding 2-4: Resultaten afslagberekeningen fase 1 en 2 [hoeveelheden in m³/m]; Scenario III: 100 jaar, maximum klimaatscenario



Afbeelding 2-5: Resultaten afslagberekeningen fase 1 en 2 [hoeveelheden in m³/m]; Scenario IV: 200 jaar, maximum klimaatscenario (ruimtereservering)

Opgemerkt wordt dat de genoemde hoeveelheden een eerste indicatie geven van de benodigde versterking. Bij het opstellen van de verschillende alternatieven zal onder andere ook gekeken worden naar de ruimtelijke inpassing van de gehele versterking. Bij bovengenoemde hoeveelheden is alleen gekeken naar de afzonderlijke raaien. De uiteindelijk benodigde hoeveelheden zullen dan ook afwijken van de hier gepresenteerde hoeveelheden.

Voor de fase 1 berekeningen zijn lokaal grote uitschieters te zien bij raai 104.47 en raai 118.00 in de berekende benodigde zandhoeveelheden. Op basis van de resultaten van fase 2 kan echter geconcludeerd worden dat dit rekenfouten in het model zijn geweest tijdens fase 1.

2.5 Veiligheidsberekeningen voor harde constructies

2.5.1 Inleiding

Ter plaatse van Ter Heijde en Solleveld bevindt zich op dit moment een duinvoetverdediging. Bij Kijkduin bestaat de mogelijkheid voor het aanbrengen van de duinvoetverdediging bij het uitvoeren van de kustversterking.

De duinvoetverdediging is in 1964 verzwaaard tussen 111,25 km - 112,20 km en verhoogd tot NAP + 9,1 meter. Eind jaren '80 is de duinvoetverdediging tussen 111,18 km - 112,17 km nogmaals versterkt. De teen van de bestaande duinvoetverdediging is toen doorgetrokken tot NAP - 1,0 meter.

De bestaande duinvoetverdediging ter hoogte van Ter Heijde (111,18 km - 112,17 km) is als volgt opgebouwd (informatie afkomstig van het rapport: *Toetsing duinvoetverdedigingen en aansluitingsconstructies*, Alkyon [2003] en tekening: Δ -Z-1-238, *Hoogwaterkering langs de Noordzee*):

- Aan de bovenzijde van de duinvoetverdediging bevindt zich een gewapende betonbalk met vol-en-zat gepenetreerde breuksteen (10 - 60 kg), een stalen damwand (lengte 2 m) en een grindkist;
- Een basaltglooing bevindt zich van NAP + 9,1 m t/m NAP + 0,7 m (onderste deel heeft een helling van 1:4);
- Ter hoogte van de onderkant van de basaltglooing bevindt zich een teenschot bestaande uit perkoenpalen (6 stuks/m) tot NAP - 1,8 meter;
- Zeewaarts van het teenschot bevindt zich een laag breuksteen (D = 0,4 m) met een sortering van 10-60 kg, gepenetreerd met bitumineuze mortel (maximaal 60% van het oppervlak. Deze laag is aanwezig van NAP + 0,7 meter - NAP -1 meter. Onder de breuksteen bevindt zich een laag grind, sortering 30/120 mm (D = 0,2m), met daaronder een geotextiel voorzien van twee lagen wiepen (diameter = 0,1 m);
- Aan de zeewaartse zijde van deze laag breuksteen bevindt zich een damwandscherm (Larssen 20) met een lengte van 5 meter.

De bestaande duinvoetverdediging ter hoogte van Solleveld (109,80 km - 111,18 km) is als volgt opgebouwd (informatie afkomstig van het rapport: *Toetsing duinvoetverdedigingen en aansluitingsconstructies*, Alkyon [2003] en tekening: Δ -Z-1-238, *Hoogwaterkering langs de Noordzee*):

- Aan de bovenzijde van de duinvoetverdediging bevindt zich een gewapende betonbalk met vol-en-zat geopenetreerde breuksteen (10 - 60 kg), een stalen damwand (lengte 2 m) en een grindkist;
- Basaltglooiing van NAP + 9,1 m t/m NAP + 0,7 m (onderste deel heeft een helling van 1:4);
- Ter hoogte van de onderkant van de basaltglooiing bevindt zich een teenschot bestaande uit perkoenpalen (6 stuks/m) tot NAP - 1,8 m;
- Het is niet bekend of er een teenconstructie aanwezig is en wat de bekleding en dimensies zijn.

In het traject (111,18 km - 112,17 km) bevinden zich vier strandhoofden. De bekleding van deze strandhoofden is als volgt (informatie afkomstig van het rapport: *Toetsing duinvoetverdedigingen en aansluitingsconstructies*, Alkyon [2003] en tekening: Δ-Z-1-238, *Hoogwaterkering langs de Noordzee*):

- Op de kruin bevinden zich basaltzuilen (D = 0,2 m en D = 0,3 m) met daaronder een puinlaag (D = 0,2 m) inclusief een vlijlaag;
- Op de taluds bevinden zich ook basaltzuilen (D = 0,2 m en D = 0,3 m). Tussen de bekleding op de kruin en de talud bevindt zich een perkoenpaal met een lengte van 1,7 meter (h.o.h. 0,5).

In de volgende paragrafen worden verschillende versterkingsalternatieven uitgewerkt voor de duinvoetverdediging. Behalve de duinvoetverdediging voldoen ook de aansluitingsconstructies niet aan de gestelde veiligheidseisen. Aan de beide uiteinden van de duinvoetverdediging eindigt de harde constructie vrij abrupt. Net naast de harde constructie zal de erosie van het duin verder schrijden dan het meest landwaartse deel van de harde constructie. Dit betekent dat de aansluitingconstructie ondermijnd zal worden. Er zal zand van achter de constructie eroderen, waardoor de constructie als het ware geleidelijk zal afbrokkelen (Alkyon [2003]).

De duinvoetverdediging en eventueel andere aanwezige niet waterkerende objecten kunnen een zekere invloed hebben op de veiligheid van de waterkering. De aanwezigheid van de constructie zorgt ervoor, dat het profiel aldaar tijdens storm niet sterk aan erosie onderhevig zal zijn. De harde constructie "onthoudt" als het ware zand van het zandige profiel. Hierdoor ontstaat er bij de teen van de constructie een tekort aan zand. Als gevolg hiervan zal er zand vanaf de zijkant toestromen. De hoeveelheid zand kan bepaald worden door het afslagprofiel ter plaatse van de constructie te vergelijken met het profiel net naast de constructie.

Door de onthouding van zand zal er in de kustsectie naast de harde constructie extra erosie optreden. Deze extra erosie wordt uitgedrukt in meters extra afslag T_e .

De wijze waarop de aansluitingsconstructies worden vormgegeven hangt nauw samen met het te kiezen alternatief. De verdere uitwerking van de aansluitingsconstructies vindt plaats in hoofdstuk 6.

2.5.2 Reststerkte bestaande duinvoetverdediging

In paragraaf 2.4 is reeds de benodigde hoeveelheid zand bepaald om de zwakke plekken bij Ter Heijde en Solleveld volledig als duin uit te voeren, hierbij is geen rekening gehouden met de eventuele reststerkte van de aanwezige duinvoetverdediging. Bij de toetsing (Alkyon [2003]) is gebleken dat de maximaal toelaatbare golfhoogte op de bekleding van de duinvoetverdediging 1,5 m bedraagt. Ten behoeve van het bepalen van de reststerkte van de bestaande duinvoetverdediging is in Tabel 2-5 een overzicht gegeven van benodigde zeewaartse versterking om de golfbelasting op de duinvoetverdediging te reduceren tot 1,5 meter. Een gedetailleerde beschrijving van de gevolgde werkwijze is opgenomen in bijlage 3.

Voor het bepalen van de benodigde hoeveelheid zand zijn de JARKUS raaien gebruikt die overeenkomen met de basiskustlijn (MKL=BKL). Een overzicht van de gehanteerde raaien is opgenomen in bijlage 1. Uit de resultaten kan worden geconcludeerd dat de benodigde versterkingen ongeveer gelijk zijn aan de benodigde versterkingen voor de zeewaartste alternatieven uit de afslagberekeningen uit paragraaf 2.4. Aangezien bij deze afslagberekeningen de duinvoetverdediging niet is meegenomen kan geconcludeerd worden dat de duinvoetverdediging in de huidige staat bij maatgevende condities geen bijdrage levert aan de veiligheid. Bij vaker voorkomende stormen heeft de duinvoetverdediging wel een functie in het beschermen van het achtergelegen duin/land.

Raai:	Scenario I		Scenario II		Scenario III		Scenario IV	
	Breedte [m]	Volume [m ³]	Breedte [m]	Volume [m ³]	Breedte [m]	Volume [m ³]	Breedte [m]	Volume [m ³]
109,96	50	810	60	1014	60	969	50	759
110,34	50	820	60	1037	60	1018	70	1214
110,56	60	957	70	1108	80	1222	90	1338
110,72	70	1262	80	1471	80	1452	80	1440
111,09	90	1422	100	1632	100	1592	110	1783
111,47	70	1227	80	1435	80	1560	90	1711
111,76	40	667	70	1262	70	1262	70	1290
111,96	50	857	60	1043	60	1083	60	1132

Tabel 2-5: Benodigde berekende zeewaartse versterking voor de verschillende scenario's bij Ter Heijde (zodat golfhoogte < 1,5 m).

Een andere mogelijkheid om de zwakke plekken bij Ter Heijde en Solleveld te versterken is het aanbrengen van een nieuwe duinvoetverdediging. Met name voor de landwaartse opties kan deze variant interessant zijn. De uitwerking van een nieuw aan te leggen duinvoetverdediging is beschreven in de volgende paragraaf.

2.5.3 Versterking van de bekleding van de duinvoetverdediging

Inleiding

Op basis van de veiligheidsberekeningen beschreven in voorgaande paragrafen kan worden geconcludeerd dat de duinvoetverdediging in de huidige staat bij maatgevende condities geen bijdrage levert aan de veiligheid. In deze paragraaf is onderzocht hoe de bestaande duinvoetverdediging, ter hoogte van Ter Heijde en Solleveld, kan worden vervangen zodat deze voldoet aan de nieuwe ontwerpeisen. Een dergelijke duinvoetverdediging zou bij de kustversterking tevens bij Kijkduin kunnen worden ingepast.

In eerste instantie is het voor het bepalen van de effecten van de verschillende alternatieven voor het MER noodzakelijk om een globaal ontwerp van de harde constructie op te stellen. Het is hierbij van belang om inzicht te krijgen in de te gebruiken materialen en de benodigde afmetingen van de constructie. Er wordt hierbij uitgegaan van een vormgeving van de constructie die vergelijkbaar is met de bestaande constructie. Mocht uit de effectbeoordeling volgen dat een alternatief met een harde constructie goed scoort, dan kan een verdere optimalisatie van het ontwerp volgen ten behoeve van het voorkeursalternatief¹. Bij deze optimalisatie kunnen ook constructies met een alternatieve vormgeving beschouwd worden.

Aanpak

Aan de hand van de golfhoogtes bij de teen van de duinvoetverdediging wordt de benodigde bekleding op het talud en de teenconstructie gedimensioneerd. Voor de taludbekleding is een aantal alternatieven mogelijk. Voor elk van deze alternatieven zijn de specificaties van deze bekleding bepaald en is de toepasbaarheid verkend.

Mogelijke alternatieven duinvoetverdediging

Voor deze specifieke constructie is op basis van een deskundig oordeel een voorselectie gemaakt van mogelijkheden ter versterking van de duinvoetverdediging.:

- 1) Zetsteen op uitvullaag:
 - a) (gekantelde) betonblokken;
 - b) betonzuilen.
- 2) Waterbouwasfaltbeton;
- 3) Open steenasfalt op een filter van zandasfalt
- 4) Losse breuksteen;
- 5) Overlagen van bestaande bekleding:
 - a) losse breuksteen;
 - b) patroongepetreeerde breuksteen/vrijkomende materialen (met asfalt/beton);
 - c) vol-en-zat gepetreeerde breuksteen/vrijkomende materialen (met asfalt/beton) (sortering 10 - 60 kg).

¹ Uit de onderlinge vergelijking van de alternatieven in het MER is het alternatief verhoogde duinen op diverse aspecten afgevalen. Voor het ontwerp van de harde elementen heeft dan ook geen verdere optimalisatie plaats gevonden.

Voor deze bekledingstypen zijn de hoofdafmetingen en kenmerken bepaald op basis van het rapport Technisch Rapport Asphalt voor Waterkeren en het Technisch Rapport Steenzettingen [2003]. Tevens is de benodigde laagdikte voor de bekleding bepaald. Hiervoor zijn de hydraulische randvoorwaarden benodigd op verschillende hoogtes op het talud.

Hydraulische randvoorwaarden

Voor het bepalen van de afslag tijdens ontwerpcondities in situaties waarbij doorgaande afslag wordt gelimiteerd door een harde waterkering, is het tijdsafhankelijke dwarstransportmodel DUROSTA toegepast. Aan de hand van hydraulische randvoorwaarden, welke op de zeewaartse rand van het model zijn opgelegd, berekent dit model de golfvoortplanting richting de kust en de daaruit volgende zeewaarts gerichte sedimenttransporten. Op basis van gradiënten in het dwarstransport wordt vervolgens de verandering van het kustprofiel berekend. Met behulp van deze berekeningen zijn voor elk van de JARKUS-raaien de resterende golfcondities ter plaatse van de teen van de dijk bepaald.

De (ontwerp)belastingen op de duinvoetverdediging worden voor verschillende scenario's berekend. De te hanteren ontwerpbelasting voor de duinvoetverdediging is de maatgevende belasting in de komende 100 jaar

Aandachtspunt bij de resultaten van de Durosta berekeningen is dat uitgegaan wordt van de situatie met het benodigde onderhoud ten behoeve van de BKL, met andere woorden van de situatie met een bodemstijging welke de relatieve zeespiegelstijging volgt. Deze bodemstijging biedt de duinvoetverdediging een zekere verdediging. Uit de resultaten blijkt dat daardoor in sommige gevallen bijvoorbeeld voor het scenario 100 jaar max meer versterking nodig is en blijkbaar dus zwaardere omstandigheden gelden dan voor het scenario 200 jaar max. In het laatste geval weegt de extra zandlaag als gevolg van bodemstijging zwaarder dan de toename in de hydraulische belastingen.

Raai		Significante golfhoogte [m] en golfperiode [s] bij de teen				Maatgevend
		scenario 50 jaar	scenario 50 jaar robuust	scenario 100 jaar	scenario 100 jaar robuust	
109,96	H	3,1	3,13	3,38	3,23	3,38
	T	8,14	8,17	8,49	8,30	8,49
110,34	H	3,29	3,4	3,51	3,59	3,59
	T	8,38	8,52	8,66	8,75	8,75
110,56	H	3,26	3,43	3,63	3,66	3,66
	T	8,34	8,56	8,80	8,84	8,84
110,72	H	3,48	3,66	3,8	4,03	4,03
	T	8,62	8,84	9,01	9,28	9,28
111,09	H	3,44	3,56	3,77	3,95	3,95
	T	8,57	8,72	8,97	9,18	9,18
111,47	H	3,26	3,36	3,59	3,75	3,75
	T	8,34	8,47	8,75	8,95	8,95
111,76	H	3,01	3,21	3,39	3,57	3,57
	T	8,02	8,28	8,51	8,73	8,73
111,96	H	3,01	3,2	3,39	3,57	3,57
	T	8,02	8,27	8,51	8,73	8,73

Tabel 2-6 Significante golfhoogte en bijbehorende golfperiode bij de teen bij verschillende raaien langs de Delflandse kust voor 5 scenario's (minimale belasting in oranje, maximale belasting in blauw)

In Tabel 2-6 zijn de golfhoogten bij de teen weergegeven zoals bepaald voor de verschillende scenario's. In de laatste kolom is de maatgevende belasting weergegeven. Op basis van deze gegevens is de benodigde duinvoetverdediging bepaald.

De Durosta resultaten geven inzicht in de golfhoogten bij de teen, waarden voor de golfperiode kunnen hier echter niet mee bepaald worden. Over het algemeen zal de golfperiode afnemen bij ondieper water. Bij het opstellen van dit alternatief is voor een eerste indicatie uitgegaan van golfperiodes die zijn afgeleid door een aanname te doen voor de golfsteilheid (0,03), die representatief is voor stormen op de Noordzee. De maximale golfhoogte en golfperiode bij de teen op het traject van Solleveld tot Ter Heijde zijn $H = 4,03$ m en $T = 9,28$ s. De minimale golfhoogte en golfperiode in dit traject zijn $H = 3,01$ m en $T = 8,02$ s. Aan de hand van deze maximale en minimale waarde zijn de maximale en minimale afmetingen van de alternatieven voor de duinvoetverdediging bepaald.

Ontwerpfilosofie

In de verschillende leidraden bestaat geen eenduidigheid over hoe een duinvoetverdediging die bedekt is met zand moet worden ontworpen. In principe mag het zand dat na afslagberekeningen nog aanwezig is op de duinvoetverdediging meegenomen worden bij de bepaling van de veiligheid van de duinvoetverdediging. Er is echter voor gekozen om de duinvoetverdediging duurzaam te ontwerpen. Dit houdt in dat is aangenomen dat er tijdens maatgevende condities geen zand aanwezig is op de harde bekleding.

Een verdere optimalisatie van het ontwerp kan bestaan uit een combinatie van zand in de vorm van een steunduin en een duinvoetverdediging. In paragraaf 2.2.5 is reeds een uitwerking van een dergelijke combinatie gegeven waarbij de huidige duinvoetverdediging kan blijven bestaan.

Bij het ontwerpen wordt verder aangenomen dat een mogelijke toekomstige duinvoetverdediging ter hoogte van Kijkduin (105,90 km - 106,30 km) volgens hetzelfde principe wordt opgebouwd als het op te stellen ontwerp voor de duinvoetverdedigingen bij Solleveld en Ter Heijde.

Uitwerking alternatieven duinvoetverdediging

Voor de genoemde alternatieven is de benodigde sortering en laagdikte (D) bepaald. In onderstaande is een overzicht gegeven van de resultaten. In de berekeningen is voor twee schadeniveaus de benodigde bekledingen bepaald. Allereerst is voor schadeniveau $S = 3$ (het begin van beweging van breuksteen) de benodigde duinvoetverdediging berekend. Vervolgens is voor een hoger schadeniveau, $S = 8$ (aanzienlijke schade), de benodigde duinvoetverdediging berekend. De achtergrond van het bepalen van de duinvoetverdediging voor twee verschillende schadeniveaus is de duur van de belasting op de duinvoetverdediging.

Uit tabel 2-7 volgt dat waterbouwasfaltbeton, open steenasfalt op een filter van zandasfalt en een overlaging van vol-en-zat gepenetreerde breuksteen mogelijk zijn. De volgende stap is voor deze 3 alternatieven te bekijken welke alternatieven toepasbaar zijn in welke hydraulische zone. In Tabel 2-8 zijn de hydraulische zones bij een zeedijk aangegeven en is aangegeven welke asfalttypes toepasbaar zijn.

Bekleding	Benodigde sortering en laagdikte	Toepasbaar
Betonzuilen	Eventueel D = 0,5, ρ = 2800 en 2900 kg/m ³	Qua kosten niet toepasbaar omdat deze hoge dichtheden speciaal gemaakt moeten worden.
Gekantelde betonblokken	0,5 x 0,5 x 0,15 m: toepasbaar tot NAP 2,3 m 0,5 x 0,5 x 0,2 m: toepasbaar tot NAP 2,1 m	Technisch niet toepasbaar omdat deze blokken maar tot een beperkte hoogte op het talud toepasbaar zijn.
Waterbouwasfaltbeton boven GHW	Dikte: 0,41 m (boven NAP + 3,3 m)	Toepasbaar
Open steenasfalt op een filter van zandasfalt	D = 0,58 m (excl. zandasfalt, boven NAP + 3,3 m) Dikte: 0,71 m (onder NAP + 3,3 m)	Toepasbaar
Losse breuksteen	6000 - 10000 kg (D = 2,8 m) (S = 3) 3000 - 6000 kg (D = 2,4 m) (S = 8)	Zeer grote laagdikte $\Rightarrow$ dit is praktisch niet toepasbaar.
Overlaging losse breuksteen	6000 - 10000 kg (D = 2,8 m) (S = 3) 3000 - 6000 kg (D = 2,4 m) (S = 8)	Zeer grote laagdikte $\Rightarrow$ dit is praktisch niet toepasbaar.
Overlaging met patroon-gepenetreeerde breuksteen	1000 - 3000 kg (D = 1,8 m)	Door grote laagdikte niet penetreerbaar $\Rightarrow$ niet toepasbaar.
Overlaging met oppervlakte-gepenetreeerde breuksteen	1000 - 3000 kg (D = 1,8 m)	Door grote laagdikte niet penetreerbaar $\Rightarrow$ niet toepasbaar.
Overlaging met vol-en-zat gepenetreeerde breuksteen (10 - 60 kg)	Dikte: 0,63 m (onder NAP + 3,3 m)	Toepasbaar

Tabel 2-7 Overzicht benodigde sortering en laagdikte van verschillende soorten bekleding (toepasbare alternatieven zijn licht grijs aangegeven)

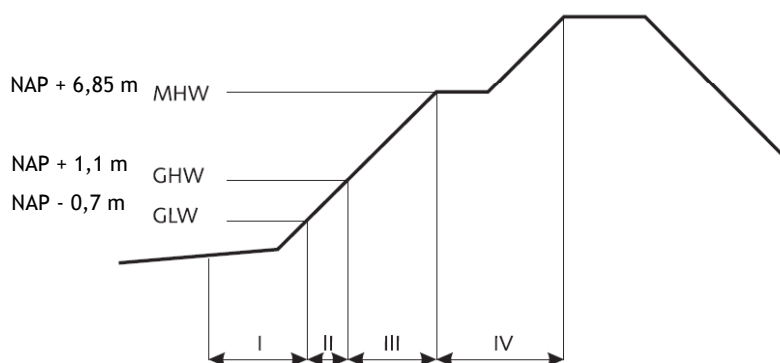
Uit tabel 2-8 en bijbehorende figuur volgt dat een bekleding van waterbouwasfaltbeton alleen wordt toegepast boven Gemiddeld Hoog Water (GHW), een vol-en-zat gepenetreeerde bekleding en open steenasfalt (mat) op een filter van zandasfalt wordt toegepast tot GHW.

Er zijn twee mogelijkheden voor de duinvoetverdediging:

- Alternatief 1: tot GHW: vol-en-zat gepenetreeerde breuksteen (10 - 60 kg); boven GHW: waterbouwasfaltbeton (d = 0,41 m);
- Alternatief 2: tot GHW: open steenasfalt op een filter van zandasfalt (d = 0,58 m); boven GHW: waterbouwasfaltbeton (d = 0,41 m).

Uit deze eerste indicatieve beschouwing volgt dat een vol-en-zat gepenetreeerde breuksteen bekleding aanzienlijk duurder is dan een bekleding van open steenasfalt met een filter van zandasfalt verdient alternatief 2 de voorkeur. In Tabel 2-11 en Tabel 2-12 is een verder

uitwerking van alternatief 2 gegeven. Een verdere optimalisatie van het ontwerp kan plaats vinden indien dit alternatief onderdeel wordt van het voorkeursalternatief.



dijktype	zone	dichte bekleding			open bekleding			
		asfalt-beton	asfalt-mastiek	gepenetreerde breuksteen (vol en zat)	gedeeltelijk gepenetreerde breuksteen	open steenasfalt (in situ)	open steenasfalt (mat)	zand-asfalt
zeedijk	I	-	+	+	+	-	+	o
	II	-	-	+	+	+	+	o
	III	+	-	+	+	+	+	o
	IV	+	-	o	o	+	o	o

Tabel 2-8 Hydraulische zones met toepasbaarheid van asfaltpyten bij een zeedijk (TAW, 2002)

Teenbestorting

De huidige teenbestorting voldoet niet aan de belasting door de golfhoogte. Met behulp van de "van der Meer formules" is de breuksteen sortering voor de teenbestorting berekend. De benodigde sortering, onderlagen en dimensies zijn als volgt:

- Toplaag: 60 - 300 kg ($D = 0,82$ m);
- Onderlaag: 5 - 40 kg ($D = 0,38$ m);
- Geokunststof;
- Breedte: 10 meter.

Dimensionering

De dimensies van de duinvoetverdediging bij verschillende alternatieven zijn bepaald voor de locaties Ter Heijde, Solleveld en Kijkduin.

Uitgangspunten berekende situatie:

- Bekleding (en kruinhoogte) tot op punt waar het overslagcriterium van 1 l/s/m wordt bereikt.
- Maatgevend ontwerppeil: NAP + 6,85 m (100 jaar max scenario).
- Golfhoogte bij de teen: 3,67 m.
- Bijbehorende golfperiode bij de teen: 8,86 s (eerste aanname op basis van uitgangspunt voor golfsteilheid = 0,03).

- De harde bekleding (waterbouwasfaltbeton) wordt doorgetrokken tot ontwerppeil + $\frac{1}{2}Z_2\%$.
- Aanwezige korreldiameter conform TAW 1984 (zie ook bijlage 3)

De bekleding (waterbouwasfaltbeton) boven het ontwerppeil hoeft aanmerkelijk minder zwaar te worden gedimensioneerd dan onder het ontwerppeil in verband met de optredende wateroverdrukken. Onder het ontwerppeil is de belasting door wateroverdrukken maatgevend terwijl boven ontwerppeil wordt gedimensioneerd op golfklappen. Volgens het Technisch Rapport Asfalt voor Waterkeren wordt meestal minder dan de helft van de golfoploopzone (vanaf NAP + 6,85 m) bekleed met een harde bekleding. Het bovenste deel kan worden bekleed met gras op klei.

Invalshoek 0 graden	Golfoverslag max. 1 l/s/m	Harde bekleding tot [m + NAP]
1:4	17.5	12.4
1:5	15.3	11.3
1:6	13.9	10.6

Tabel 2-9: Benodigde hoogte bij verschillende taludhellingen en toegestane golfoverslag

Invalshoek 20 graden	Golfoverslag max. 1 l/s/m	Harde bekleding tot [m + NAP]
1:4	16.8	12.0
1:5	14.8	11.0
1:6	13.5	10.4

Tabel 2-10: Benodigde hoogte bij verschillende taludhellingen en toegestane golfoverslag

Ter Heijde - (Taludhelling 1:4)		
(duinvoetverdediging tot NAP + 12,4 m, kruinhoogte NAP + 17,5 m, max. golfoverslag 1 l/s/m)		
Verwijderen breuksteen	8,5 ton/m	990 m
Verwijderen basalt	23 ton/m	990 m
Verwijderen palenrij		990 m
Waterbouwasfaltbeton/open steenasfalt	30,1 ton/m	990 m
Waterbouwasfaltbeton/open steenasfalt (extra boven NAP + 9,1m tot NAP + 17,5 m)	4,5 ton/m	990 m
Klei-/grasbekleding	25 m ³ /m	990 m
Geotextiel	13,2 m ² /m	990 m
Teenconstructie (60 - 300 kg) (B = 10 m)	13 ton/m	990 m
Teenconstructie (10 - 60 kg) (B = 10 m)	7,5 ton/m	990 m
Geotextiel	45 m ² /m	990 m
Weghalen bestaande damwand	3 x 1,5 m	990 m
Damwand (lengte 7,5 m)		990 m
Solleveld - (Taludhelling 1:4)		
(duinvoetverdediging tot NAP + 12,4 m, kruinhoogte NAP + 17,5 m, max. golfoverslag 1 l/s/m)		
Verwijderen basalt	23 ton/m	1040 m
Verwijderen palenrij		1040 m
Waterbouwasfaltbeton/open steenasfalt	30,1 ton/m	1040 m
Waterbouwasfaltbeton/open steenasfalt (extra boven NAP + 9,1m tot NAP + 17,5 m)	4,5 ton/m	1040 m
Klei-/grasbekleding	25 m ³ /m	1040 m
Geotextiel	13,2 m ² /m	1040 m
Teenconstructie (60 - 300 kg) (B = 10 m)	13 ton/m	1040 m
Teenconstructie (10 - 60 kg) (B = 10 m)	7,5 ton/m	1040 m
Geotextiel	45 m ² /m	1040 m
Damwand (lengte 7,5 m)		1040 m
Kijkduin - (Taludhelling 1:4)		
(duinvoetverdediging tot NAP + 12,4 m, kruinhoogte NAP + 17,5 m, max. golfoverslag 1 l/s/m)		
Verwijderen basalt	23 ton/m	400 m
Verwijderen palenrij		400 m
Waterbouwasfaltbeton/open steenasfalt	30,1 ton/m	400 m
Waterbouwasfaltbeton/open steenasfalt (extra boven NAP + 9,1m tot NAP + 14,6 m)	4,5 ton/m	400 m
Klei-/grasbekleding	25 m ³ /m	400 m
Geotextiel	13,2 m ² /m	400 m
Teenconstructie (60 - 300 kg) (B = 10 m)	13 ton/m	400 m
Teenconstructie (10 - 60 kg) (B = 10 m)	7,5 ton/m	400 m
Geotextiel	45 m ² /m	400 m
Damwand (lengte 7,5 m)		400 m

Tabel 2-11: Duinvoetverdediging met buitentalud 1:6

Ter Heijde - (Taludhelling 1:6)		
(duinvoetverdediging tot NAP + 10,6 m, kruinhoogte NAP + 13,9 m, max. golfoverslag 1 l/s/m)		
Verwijderen breuksteen	8,5 ton/m	990 m
Verwijderen basalt	23 ton/m	990 m
Verwijderen palenrij		990 m
Waterbouwasfaltbeton/open steenasfalt	57,0 ton/m	990 m
Waterbouwasfaltbeton/open steenasfalt (extra boven NAP + 9,1m tot NAP + 13,9 m)	3,1 ton/m	990 m
Klei-/grasbekleding	19,8 m ³ /m	990 m
Geotextiel	9,0 m ² /m	990 m
Teenconstructie (60 - 300 kg) (B = 10 m)	13 ton/m	990 m
Teenconstructie (10 - 60 kg) (B = 10 m)	7,5 ton/m	990 m
Geotextiel	62,4 m ² /m	990 m
Weghalen bestaande damwand	3 x 1,5 m	990 m
Damwand (lengte 7,5 m)		990 m
Solleveld - (Taludhelling 1:6)		
(duinvoetverdediging tot NAP + 10,6 m, kruinhoogte NAP + 13,9 m, max. golfoverslag 1 l/s/m)		
Verwijderen basalt	23 ton/m	1040 m
Verwijderen palenrij		1040 m
Waterbouwasfaltbeton/open steenasfalt	57,0 ton/m	1040 m
Waterbouwasfaltbeton/open steenasfalt (extra boven NAP + 9,1m tot NAP + 13,9 m)	3,1 ton/m	1040 m
Klei-/grasbekleding	19,8 m ³ /m	1040 m
Geotextiel	9,0 m ² /m	1040 m
Teenconstructie (60 - 300 kg) (B = 10 m)	13 ton/m	1040 m
Teenconstructie (10 - 60 kg) (B = 10 m)	7,5 ton/m	1040 m
Geotextiel	62,4 m ² /m	1040 m
Damwand (lengte 7,5 m)		1040 m
Kijkduin - (Taludhelling 1:6)		
(duinvoetverdediging tot NAP + 10,6 m, kruinhoogte NAP + 13,9 m, max. golfoverslag 1 l/s/m)		
Verwijderen basalt	23 ton/m	400 m
Verwijderen palenrij		400 m
Waterbouwasfaltbeton/open steenasfalt	57,0 ton/m	400 m
Waterbouwasfaltbeton/open steenasfalt (extra boven NAP + 9,1m tot NAP + 12,0 m)	3,1 ton/m	400 m
Klei-/grasbekleding	8,4 m ³ /m	400 m
Geotextiel	9,0 m ² /m	400 m
Teenconstructie (60 - 300 kg) (B = 10 m)	13 ton/m	400 m
Teenconstructie (10 - 60 kg) (B = 10 m)	7,5 ton/m	400 m
Geotextiel	62,4 m ² /m	400 m
Damwand (lengte 7,5 m)		400 m

Tabel 2-12: Duinvoetverdediging met buitentalud 1:4

Voor beide ontwerpen van de duinvoetverdediging geldt:

- Alvorens de duinvoetverdediging vervangen kan worden dient het aanwezige zand verwijderd te worden en na de aanleg van de duinvoetverdediging weer terug aangebracht worden.
- Indien wordt uitgegaan van een 200 uur storm zal er zich een diepere ontgrondingskuil ontwikkelen waardoor voor het traject ter hoogte van Ter Heijde (111,18 km - 112,17 km) ook een damwand benodigd is. De bestaande damwand bij de teen van de bekleding dient dan tevens verwijderd te worden en vervangen te worden door een damwand met een grotere lengte.

2.5.4 Versterking van de damwandschermen

Inleiding

Ten behoeve van het schetsontwerp voor de teenconstructie van de dijk ter plaatse van het project Delflandse kust, is de minimaal benodigde damwand voor enkele scenario's doorgerekend. De verschillende scenario's hebben hoofdzakelijk betrekking op de ontgrondingskuil die zich vormt aan de buitenzijde van de damwand.

Opgemerkt wordt dat de uitgevoerde berekeningen een grove indicatie betreffen voor de verschillende situaties. Ten behoeve van een definitief ontwerp zijn meer gedetailleerde gegevens voor zowel bodemopbouw (grondspanning, dichtheid etc.) als geometrische randvoorwaarden (vorm ontgrondingskuil) noodzakelijk. De resultaten dienen derhalve uitsluitend als indicatie voor het al dan niet voldoen van een damwand in een specifieke situatie.

Uitgangspunten

- De geometrie van de duinvoetverdediging is afgeleid uit bestekstekening "hoogwaterkering langs de Noordzee" (Hoogheemraadschap van Delfland, 1990) aangevuld met gegevens met betrekking tot een nieuwe bekleding (paragraaf 3.5.3);
- Bodemopbouw conform Tabel 2-13. Hierbij wordt opgemerkt dat voor het dijklichaam tot NAP +5 m gerekend is met een volumegewicht van 20 kN/m^3 , om verzadiging na het optreden van hoogwater te simuleren. De bekleding is als extra belasting over het duin geprojecteerd. Voor de diepere zandondergrond is, indien dit van toepassing is (in geval van lange damwand) gerekend met steviger gepakt zand. De k-waarden zijn afgeleid uit de CUR166, de overige parameters zijn afgeleid uit NEN6740;
- Voor het maatgevend waterniveau is uitgegaan van een peil gelijk aan GLW, wat overeenkomt met NAP -0,7 m;
- Er is gerekend met drie typen damwand. De gekozen sterkte van de damwand hangt samen met de toe te passen lengte. In Tabel 2-14 is een overzicht van de verschillende mogelijkheden opgenomen;
- Er zijn drie verschillende ontgrondingskuilen gesimuleerd, weergegeven in Tabel 2-15. De diepte van de ontgrondingskuil is bepaald met behulp van Durosta. Voor de geometrie van de ontgrondingskuilen is uitgegaan van het maximaal ontgrondingsniveau ter plaatse van de damwand en een verloop naar NAP 0 m (oorspronkelijk maaiveld) onder een talud van 1:5;
- Per situatie worden twee berekeningen uitgevoerd. Een representatieve berekening teneinde de vervormingen te bepalen en een karakteristieke berekening (rekenwaarden)

voor een veiligheidsklasse II ten behoeve van het bepalen van de maximaal toelaatbare momenten.

Grondsoort	bovenzijde [m NAP]	$\sigma_{\text{sat}}/\sigma_{\text{dr}}$ [kN/m ³]	c [kN/m ²]	ϕ/ϕ [°]	k1 [-]	k2 [-]	k3 [-]
zand dijklichaam	+9,1	18/20	0	30/20	12000	6000	3000
zand dijklichaam verzadigd	+5	20/20	0	30/20	12000	6000	3000
zand ondergrond	-1	18/20	0	30/20	20000	10000	5000
zand diepere ondergrond	-7,5	18/20	0	35/23	40000	20000	10000

Tabel 2-13 Geotechnische parameters (representatief)

Damwand	EI [kN/m ²]	$M_{\text{toelaatbaar S235}}$ [kNm]	$M_{\text{toelaatbaar S355}}$ [kNm]	diepte/lengte [m NAP/ m]
Larssen21	16170	110	166	-6/ 5
Larssen603	39060	188	284	-8,5/ 7,5
Larssen604	64491	254	383	-13,5/ 12,5

Tabel 2-14 Gegevens damwanden (representatief)

Scenario	diepte [m NAP]	damwand [type]	omschrijving
1	-2,57	Larssen21	huidige situatie
2	-4,41	Larssen603	toekomstige situatie
3	-7,5	Larssen604	toekomstige situatie geëxtrapoleerd

Tabel 2-15 Scenario's ontgrondingskuilen

Resultaten MSheet berekeningen

De berekeningsresultaten van de MSheet berekeningen zijn opgenomen in Tabel 2-16 In afbeelding 2-6 tot en met afbeelding 2-11 worden de resultaten van de berekeningen uitgebreid getoond.

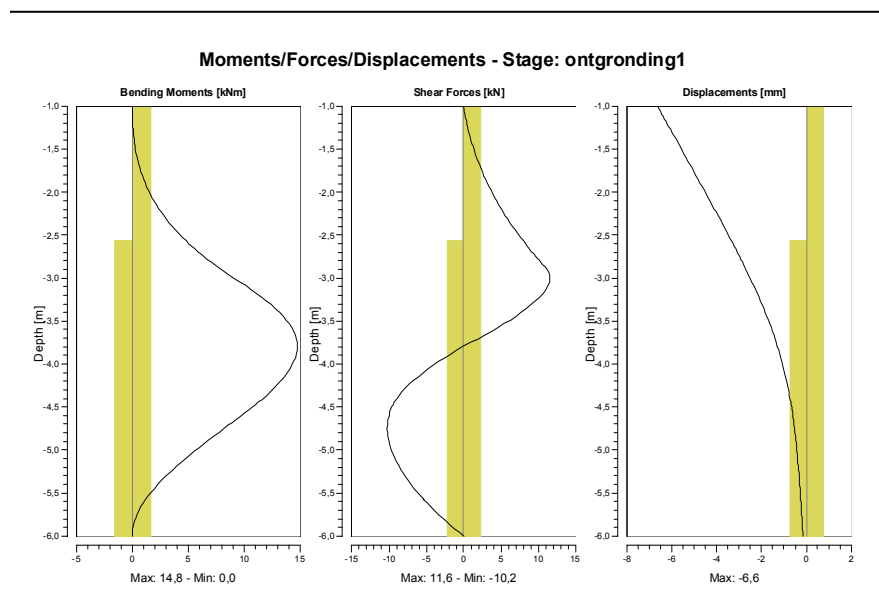
Scenario	Diepte kuil [m NAP]	Damwand [type/lengte]	M_{max} (reken) [kNm]	$M_{\text{toelaatbaar S235}}$ [kNm]	Verplaatsing (rep) [mm]	Oordeel
1	-2,57	Larssen21/ 5	15 (figuur 1)	110	2 (figuur 2)	voldoet
2	-4,41	Larssen603/ 7,5	93 (figuur 3)	188	19 (figuur 4)	voldoet
3	-7,5	Larssen604/ 12,5	412 (figuur 5)	254	130 (figuur 6)	voldoet niet

Tabel 2-16 Resultaten berekeningen

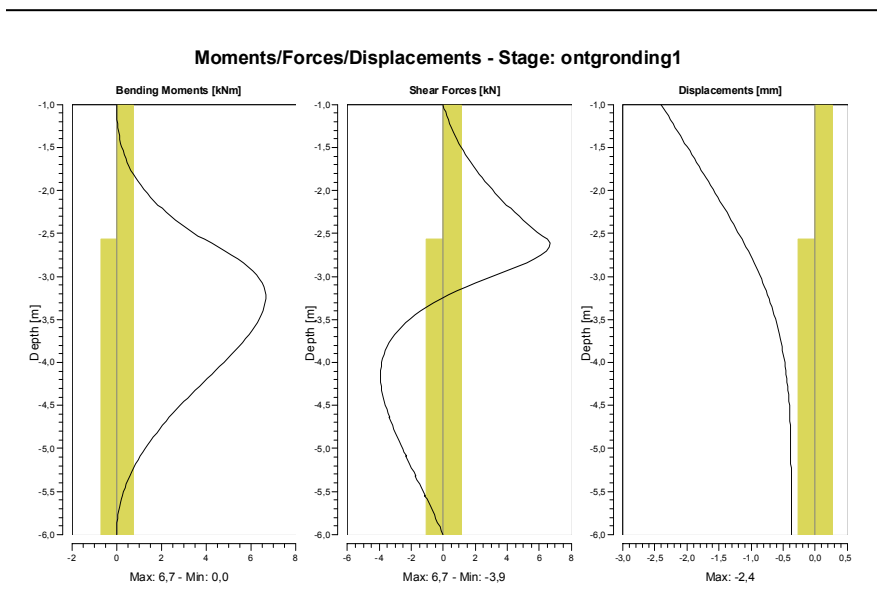
Op basis van de indicatieve berekeningsresultaten kan wordt geconcludeerd dat het vervangen van de bekleding door een zwaarder type met de huidige damwand (Larsson21, planklengte 5 m) bij een maatgevende ontgrondingskuil van NAP -2,57 m, voldoet. Voor het gedeelte waar in de huidige situatie geen damwand aanwezig is, voldoet een Larssen21-profiel, of een vergelijkbaar profiel met een minimale buigstijfheid van 16170 kN/m^2 .

Het Larssen603 profiel met een planklengte van 7,5 m voldoet tot een ontgrondingskuil met een diepte van NAP -4,4 m.

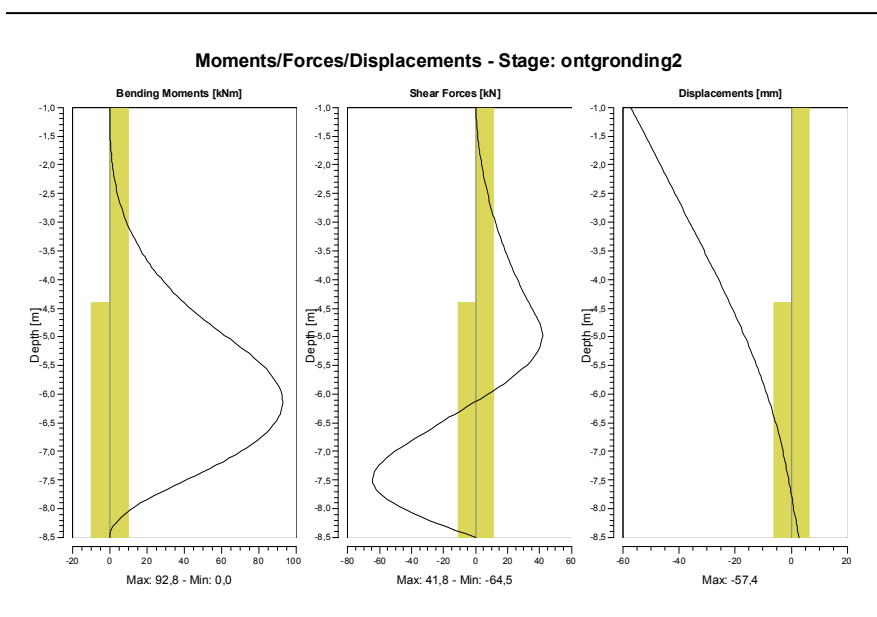
Bij een ontgrondingskuil met een diepte van NAP -7 m voldoet het Larssen604 profiel niet (zelfs niet bij een zwaardere staalkwaliteit). Het maximaal toelaatbaar moment wordt overschreden en de vervormingen zijn evenmin acceptabel. Indicatief is een nog langere damwand (type Larssen605) doorgerekend. Hieruit blijkt dat de optredende momenten bij de maatgevende ontgrondingskuil wel voldoen, maar dat de vervormingen niet acceptabel zijn ($>0,2 \text{ m}$). Bij een dergelijke ontgrondingskuil wordt geadviseerd de mogelijkheden van een combiwand te bekijken. Hiermee kan bovendien bespaard worden op de planklengte.



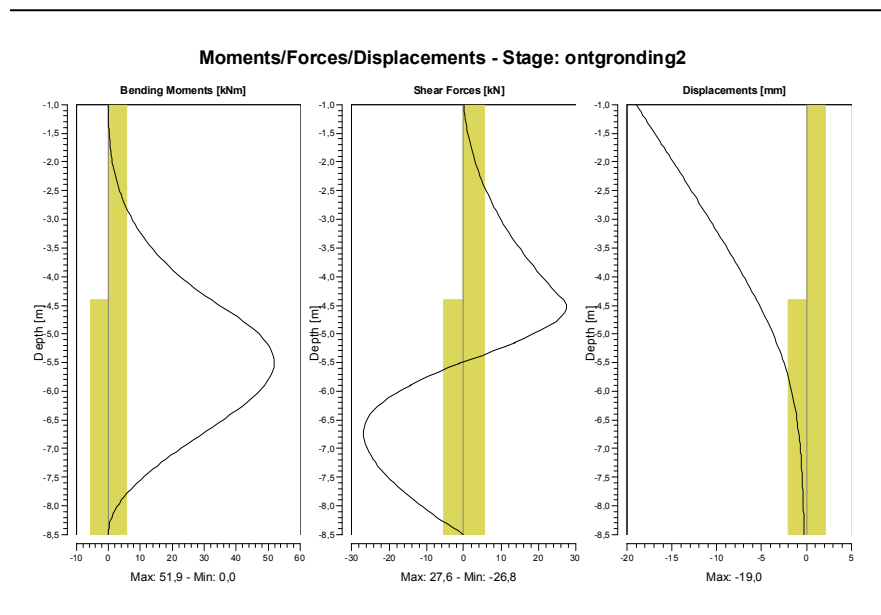
Abbeelding 2-6: Scenario 1 rekenwaarden



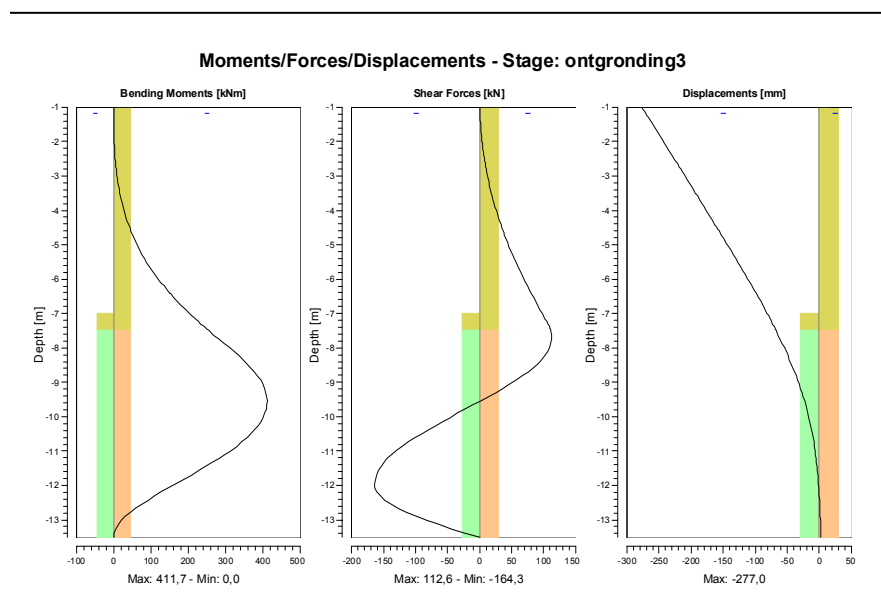
Afbeelding 2-7: Scenario 1 representatieve waarden



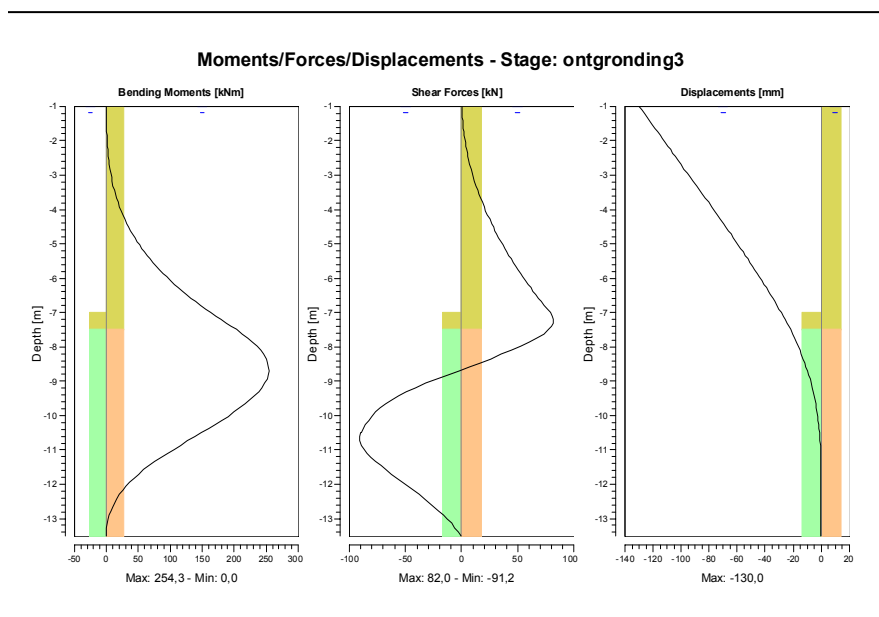
Afbeelding 2-8: Scenario 2 rekenwaarden



Afbeelding 2-9: Scenario 2 representatieve waarden



Afbeelding 2-10: Scenario 3 rekenwaarden



Afbeelding 2-11: Scenario 3 representatieve waarden

2.6 Conclusies veiligheid

Uit de inventarisatie van de veiligheidssituatie van de Delflandse kust blijkt dat met name het kustvak 's Gravenzande - Kijkduin niet voor de komende 50 jaar aan de gestelde norm voor de veiligheid tegen overstroming van het achterland voldoet. De zandhoeveelheden die benodigd zijn voor het versterken van de kust lopen voor de verschillende alternatieven uiteen. Ten opzichte van de profielen die behoren bij MKL=BKL zijn voor het klimaatscenario 50 jaar midden de volgende hoeveelheden benodigd:

- Zeewaartse consolidatie van de afslaglijn: 14.1 miljoen m³ zand.
- Zeewaartse consolidatie op de raaien waar versterking nodig is: 7.2 miljoen m³ zand.
- Landwaartse versterking zodat aan veiligheidseis wordt voldaan: 1.8 miljoen m³ zand.
- Zeewaartse versterking zodat aan de veiligheidseis wordt voldaan: 5.0 miljoen m³ zand.

Bij het opstellen van de alternatieven speelt naast de veiligheidsopgave tevens de morfologische en landschappelijke inpassing een rol. Daarnaast kan het extra zand dat in de huidige situatie aanwezig is ten opzichte van de MKL=BKL in mindering gebracht worden. Op basis van de veiligheidsberekeningen worden ten behoeve van het MER de volgende alternatieven en varianten opgesteld:

- **Verhoogde duinen:**
 - ◇ Variant met harde kering bij Kijkduin, Ter Heijde en Solleveld
 - ◇ Variant met zachte oplossing bij Kijkduin, Ter Heijde en Solleveld
- **Zeewaarts verbreden.**
- **Royaal zeewaarts verbreden:.**
 - ◇ Variant met strandvlakte
 - ◇ Variant met voorduinlandschap



Ten aanzien van de reststerkte van de duinvoetverdediging bij Ter Heijde en Solleveld kan worden geconcludeerd dat de duinvoetverdediging in de huidige staat bij maatgevende condities geen bijdrage levert aan de veiligheid. Bij vaker voorkomende stormen heeft de duinvoetverdediging wel een functie in het beschermen van het achtergelegen duin/land.

Naast oplossingen in zand wordt een harde oplossingen beschouwd ten behoeve van het alternatief verhoogde duinen. De dimensies van de duinvoetverdediging zijn voor de drie verschillende locaties bepaald met een buitentalud van 1:4 en 1:6.

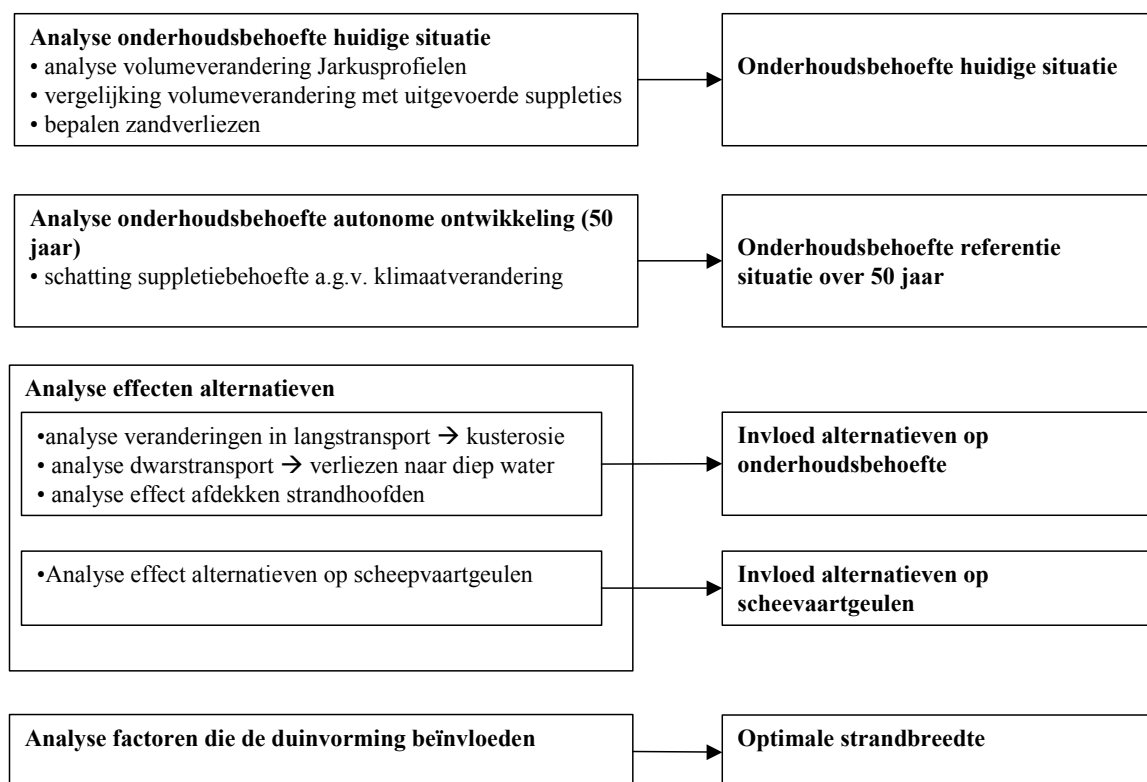
Harde elementen in het duin hebben nadelige effecten aan de beide uiteinden van de duinvoetverdediging. Hier vindt een overgang plaats van de harde dijk naar een volledig zandig profiel. De harde constructies zorgen voor herverdeling van zand in kustlangse richting. Hierdoor kan lokaal extra erosie plaatsvinden (het zogenaamde "onthoudenzandvolume"). Daarnaast kunnen harde elementen ook nadelige consequenties hebben op lange termijn morfologische processen. Om deze redenen is er een voorkeur voor zachte oplossingen als deze inpasbaar zijn.

De verdere stappen om vanuit de veiligheidsopgave te komen tot de verschillende alternatieven worden in de volgende hoofdstukken uitgewerkt.

3 MORFOLOGIE - ONDERHOUD & ONTWERPASPECTEN

3.1 Samenvatting resultaten morfologie

De onderhoudsbehoefte is bepaald aan de hand van een uitgebreide analyse van het morfologische gedrag van de Delflandse kust. Deze analyse is gebaseerd op de analyse van de data uit de periode 1965-2005 en morfologische modelberekeningen aangevuld met expert judgement. Daarmee is eerst een schatting gemaakt van de onderhoudsbehoefte in de huidige situatie, en vervolgens is het effect van de alternatieven hieraan toegevoegd. Dit geeft het beeld van de onderhoudsbehoefte in de huidige situatie. De invloed van klimaatverandering op de onderhoudsbehoefte is in beeld gebracht, waarmee een inschatting is gemaakt voor de verschillen tussen de alternatieven op de lange termijn (tijdshorizon van 50 jaar).



Afbeelding 3-1: Opzet morfologisch onderzoek

De morfologische analyse bestond uit een aantal stappen (zie ook schema in Afbeelding 3-1):

1. Analyse verandering van zandvolume dmv. kubering van Jarkus-raaien;
2. Afzetten volumeverandering tegen de uitgevoerde suppleties in dezelfde periode;
3. Bepalen van invloed verandering in langstransport door alternatieven met 1D kust-ontwikkelingsmodel UNIBEST-CL+;
4. Bepalen van verliezen naar diep water na het aanbrengen van kustuitbreiding m.b.v. 1D dwarsstransport model UNIBEST-TC;
5. Analyse invloed afdekken strandhoofden op de onderhoudsbehoefte.
6. Analyse effect alternatieven op scheepvaartgeulen.

7. Analyse factoren die de duinvorming beïnvloeden.

Al deze stappen hebben geresulteerd in een schatting van de onderhoudsbehoefte van de Delflandse kust in de huidige situatie en in de toekomst, en de invloed van de alternatieven op deze onderhoudsbehoefte:

Huidige situatie en autonome ontwikkeling

- De onderhoudsbehoefte in de huidige situatie is geschat op 0,4 Mm³/jaar, met een bandbreedte van 0,3 - 0,5 Mm³/jaar
- Door het aanleggen van de PMR duincompensatie wordt de kust gestrekt en wordt de knik bij Ter Heijde weggehaald. Dit zal resulteren in een klein positief effect op de kusterosie ten gevolge van gradiënten in het langstransport
- Het effect van de zeespiegelstijging volgens het middenscenario wordt geschat op een toename van de onderhoudsbehoefte met 200% over 50 jaar (bron: RIKZ). Deze toename is het gevolg van met name het ophogen van het kustfundament. De onderhoudsbehoefte bij de autonome ontwikkeling zal toenemen tot 1,2 Mm³/jaar.

Invloed van alternatieven

- De versteiling van de vooroever als gevolg van onderwatersuppleties resulteert mogelijk in een toename van onderhoudsbehoefte (volgens berekeningen met UNIBEST-TC is deze toename verwaarloosbaar klein, berekeningen met PONTOS door Alkyon laten een toename zien met ca. 10%).
- Het effect van het afdekken van strandhoofden kan op korte termijn leiden tot een toename van erosie en daarmee van de onderhoudsbehoefte. Op den duur zal als gevolg van de zeespiegelstijging de functie van strandhoofden wegvallen (autonome ontwikkeling) zodat het afdekken daarvan geen vergroting van de onderhoudsbehoefte op lange termijn t.o.v. de autonome ontwikkeling zal betekenen. Op korte termijn heeft het afdekken mogelijk wel nadelige erosie effecten. Het effect daarvan is onzeker en wordt geschat op 0 - 100% toename van de huidige onderhoudsbehoefte op het traject Scheveningen - Ter Heijde (geschat op 0,2 Mm³/jaar). Dit komt overeen met een mogelijke toename van 0 - 50% van de erosieverliezen op de gehele Delflandse kust. Het betreft overigens herverdeling van het gesuppleerde zand binnen het kustvak, waarbij lokaal meer erosie dan nu op kan treden. Omdat de grootte van het effect onzeker is, en de erosie niet noodzakelijk tot onderhoudssuppleties hoeft te leiden, wordt met dit effect alleen in de onzekerheidsmarge rekening gehouden (de onderhoudsinspanning wordt niet verhoogd, het effect valt binnen de bandbreedte van de voorspelling)
- De mate waarin de strandhoofden worden afgedekt is verschillend per alternatief. Bij het alternatief "royaal zeewaarts" zal dit effect het grootst zijn, en bij het alternatief "verhoogde duinen" het kleinst. De onzekerheid omtrent de grootte van dit effect is echter dermate groot dat de alternatieven op dit punt niet onderscheidend zijn.
- Voor alle alternatieven wordt uitgegaan van een toename van de onderhoudsbehoefte met 10%; dit betekent 0,45 Mm³/jaar nu toenemend tot 1,3 Mm³/jaar over 50 jaar.

De bepaling van de onderhoudsbehoefte kent een grote marge van onzekerheid:

- De morfologische modelberekeningen en analyses hebben een onzekerheidsmarge van orde 100%.

- De invloed van het afdekken van de strandhoofden is onzeker. Vanwege het afdekken van de strandhoofden als gevolg van de aanleg van de alternatieven wordt op de voorspelde onderhoudsbehoefte een extra bandbreedte van 50% gehanteerd.
- Voor de voorspelde effecten van zeespiegelstijging (autonome ontwikkeling) wordt aangenomen dat de onzekerheidsmarge orde 100% bedraagt.

Ook is de reactie van het dynamische systeem van zandbanken op de vooroeversuppletie moeilijk te voorspelen.

Rekening houdend met de bovengenoemde onzekerheden wordt bij de effectbepaling uitgegaan van een toename van de onderhoudsinspanning met 10% t.o.v. de autonome ontwikkeling (effect verstelling profiel), met een onzekerheidsmarge daaromheen van 100%. De beheersmaatregelen die genomen dienen te worden bestaan uit de monitoring van de kust (jaarlijkse Jarkus metingen).

Relatie met veiligheid

Nadat het kustversterkingsplan is uitgevoerd zal de waterkering aan de vereiste veiligheid voldoen. Op het traject waarbij de duinenkust zeewaarts verschuift zal een nieuwe Basis Kustlijn (BKL) worden gedefinieerd. Deze BKL zal in stand worden gehouden middels onderhouds-suppleties. Het instand houden van de BKL betekent in principe dat er aan de vereiste veiligheid wordt voldaan (bij de aanvang is de kust veilig, en in het vervolg wordt een overmatige kustafslag bestreden) mits op termijn de hydraulische randvoorwaarden niet zwaarder worden dan de marge die in het ontwerp is aangehouden. Onder deze aanname gelden alle resultaten van het morfologisch onderzoek m.b.t. het kustonderhoud ook voor de kustveiligheid.

3.2 Achtergronden morfologisch onderzoek

In het MER wordt aan de hand van de effectbeschrijving die resulteert uit verschillende onderzoeken een keuze gemaakt voor een voorkeursalternatief. Eén van die onderzoeken is een morfologische studie, waaruit de morfologische effecten van de alternatieven moeten blijken. De morfologische effecten waar de alternatieven in het MER op beoordeeld worden zijn:

- Strakke kustlijn en omvang kustonderhoud;
- Effecten op scheepvaartgeulen.

Om de morfologische effecten van de alternatieven te kunnen beoordelen is het van belang om naast de morfologische ontwikkeling van de Delflandse kust in het verleden inzicht te hebben in de autonome ontwikkeling van de kust en de ontwikkeling bij aanleg van de verschillende alternatieven. Om dit inzicht te verkrijgen zijn verschillende morfologische studies uitgevoerd. In dit hoofdstuk worden de resultaten van deze onderzoeken gepresenteerd.

Doelstellingen

De doelstellingen van de morfologische analyses zijn:

- Inzicht verkrijgen in de huidige morfologische ontwikkeling van de Delflandse kust en de autonome ontwikkeling. Dit vormt input voor het referentiealternatief.
- Een inschatting maken van de verwachte zandverliezen van de Delflandse kust na het uitvoeren van de kustversterking, m.a.w. een inschatting van de onderhoudsbehoefte voor verschillende alternatieven.

- Een inschatting maken van de invloed van de alternatieven op scheepvaartgeulen.

3.3 Aanpak morfologisch onderzoek

3.3.1 Opzet onderzoek

Een schatting van de zandverliezen is afgeleid uit een beschouwing van de morfologische ontwikkeling van de kuststrook tussen Scheveningen en Hoek van Holland op basis van de beschikbare Jarkusprofielen en eerdere analyses. Om de genoemde onderbouwing te geven is eerst het zandbudget in het verleden (1970-2005) beschouwd. Vervolgens is de autonome ontwikkeling bepaald, om uiteindelijk een vertaling te maken naar de effecten van verschillende alternatieven van kustversterking op de onderhoudsbehoefte. Gekozen is voor een pragmatische aanpak waarbij de grootschalige volumeverandering tussen de NAP -8m dieptecontour en de duintop (de actieve zone) in de tijd, en de ruimtelijke variatie langs de Delflandse kust in beeld zijn gebracht en vertaald naar de toekomst, na aanleg van de kustversterking.

Om de voorspelde zandverliezen te onderbouwen zijn sedimenttransporten berekend langs de kust en dwars op de kust. Met de langstransport berekeningen wordt inzicht verkregen in de verwachte zandverliezen langs de kust na het aanbrengen van de kustversterking op locaties langs de Delflandse kust. Hiermee kunnen probleemlocaties met betrekking tot de onderhoudsbehoefte worden gesignaleerd en de locaties waar naar verwachting aanzanding zal plaatsvinden.

Met de dwarstransport berekeningen wordt op een locatie dwars op de kust inzicht verkregen of het zand in het profiel blijft dan wel naar dieper water wordt getransporteerd en uit het systeem verdwijnt.

Er is een inschatting gemaakt van de gevolgen van het (gedeeltelijk) afdekken van strandhoofden die tussen Scheveningen en Hoek van Holland liggen op kustonderhoud. Deze kwalitatieve inschatting is gedaan op basis van ontwerp- en vuistregels.

Tenslotte is de invloed van alternatieven op de scheepvaartgeulen kwalitatief ingeschat.

3.3.2 Gebruikte methoden

Analyse ontwikkeling Delflandse kust m.b.t. onderhoudsbehoefte

De onderhoudsbehoefte van de Delflandse kust is afgeleid uit de verandering in het volume zand dat in de actieve zone (de zone waar de grootste morfologische verandering plaatsvinden, van NAP -8m contour tot duintop) aanwezig is. Het zandvolume in de actieve zone kan worden bepaald uit de Jarkusraaien die sinds 1965 jaarlijks worden gemeten. In dit morfologisch onderzoek is voornamelijk informatie van de periode 1990-2005 gebruikt omdat de dataset van de eerdere periode minder geschikt was vanwege lagere dichtheid van raaien². De gegevens sinds 1970 zijn wel gebruikt om de trends in de kustontwikkeling te bepalen.

² Naderhand is gebleken dat RIKZ over een uitgebreider set van Jarkusraaien beschikt dan in eerste instantie door DHV gebruikt. Deze aanvullende informatie is gebruikt om de eerdere bevindingen te controleren en verder te onderbouwen.

Er zijn twee verschillende methodes gebruikt om het zandvolume en de verandering daarin te bepalen.

1. Kubering van afzonderlijke raaian: bij deze methode is de kubering van afzonderlijke raaian uitgevoerd middels een computerprogramma en nabewerking (numerieke integratie van profielen en berekening van verandering van zandvolume t.o.v. 1990) in Excel.
2. Kubering in GIS: bij deze methode zijn Jarkusprofielen in GIS geïnterpoleerd, en is vervolgens de verandering van zandvolume t.o.v. 1990 binnen dezelfde grenzen als bij de eerste methode in GIS bepaald. Daartoe is de Delflandse kust in 7 vakken opgedeeld (zie Afbeelding 3-2) aan de hand van suppletievakken en van het algemene beeld van aanzanding/erosie. Middels dezelfde methode is ook de volumeontwikkeling in deze kustvakken in de zone NAP -8m tot NAP -5m, en landwaarts van NAP -5m bepaald.

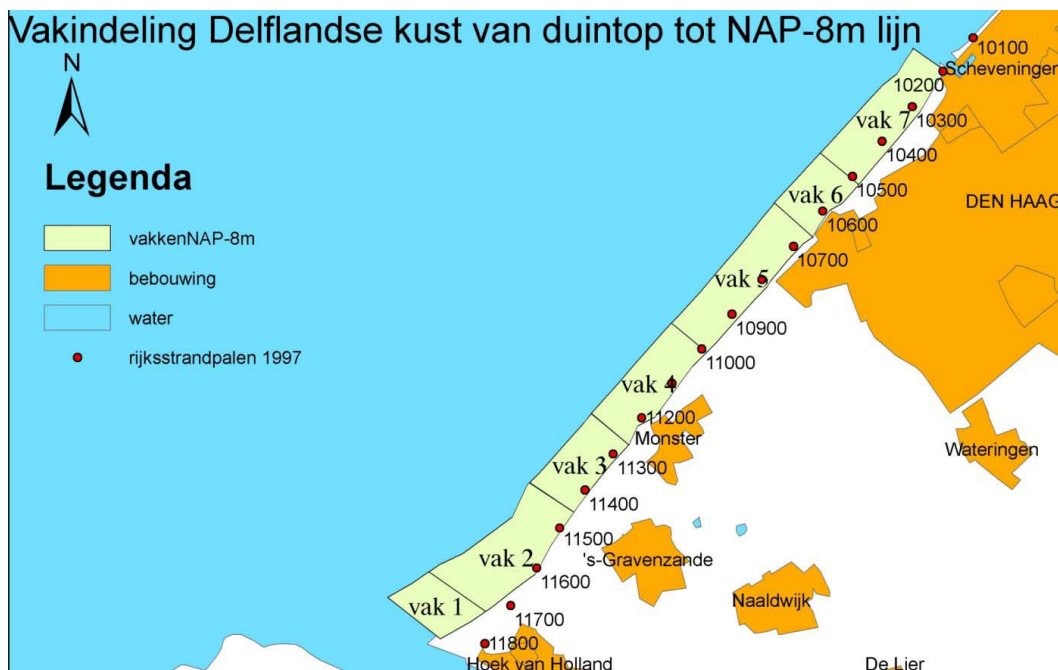
De onderhoudsbehoefte van de kust is vervolgens bepaald uit het verschil tussen de suppleties en de toename van volume, gemiddeld over de periode van 15 jaar. Resultaten van beide methodes zijn gebruikt om de bandbreedte aan te geven.

Een uitgebreide beschrijving van de aanpak van de analyse is opgenomen in Bijlage 2.

De gehanteerde methode wijkt af van de door het RIKZ gehanteerde methode voor het bepalen van de suppletiebehoefte op zowel tijdschaal als ruimteschaal.

De voorspelling van de BKL suppleties door het RIKZ vindt plaats door ieder jaar de geëxtrapoleerde TKL (te Toetsen Kust Lijn) aan de ligging van de vastgestelde norm BKL (Basis Kust Lijn) te toetsen. De TKL is een geëxtrapoleerde kustlijn naar 1 januari van het volgende jaar op basis van de ligging van de MKL (Momentane Kust Lijn) van de afgelopen 10 jaren. Op basis van deze uitkomst besluit het RIKZ of het komende jaar een suppletie nodig is.

De 10-jarige periode wordt te kort geacht, aangezien de planperiode een langere termijn van 50 jaar bedraagt. Daarom is er voor gekozen om beschikbare meetgegevens over een langere periode (vanaf 1965) te gebruiken. Gebruik van een langere tijdschaal vereist het gebruik van een grotere ruimteschaal zodat de fluctuaties die op de lange tijdschaal optreden goed zichtbaar zijn.



Afbeelding 3-2: Vakindeling analyse zandbudget Delflandse kust

Berekeningen kustlangs sedimenttransport

Bij alle alternatieven verandert de ligging en oriëntatie van de kustlijn. Dit heeft invloed op het kustlangs sediment transport, en hierdoor op de processen van erosie en aanzanding langs de kust. Hierdoor kan ook de totale onderhoudsbehoefte veranderen.

De analyse van de invloed van ontwerpalternatieven op het kustgedrag en daarmee op de onderhoudsbehoefte is gebaseerd op berekeningen met het 1D-kustlijnmodel Unibest CL+. Dit model berekent de kustontwikkeling op basis van berekende kustlangs zandtransporten in combinatie met de kustoriëntatie. Het model is *globaal* gecalibreerd op de gemiddelde zandvolume verandering. Hiervoor is gekozen in plaats van gebruikelijke calibratie op de waargenomen historische kustlijnverandering vanwege het globale karakter van het onderzoek binnen het MER. Een uitvoerige calibratie valt buiten het kader van dit project. De verkregen resultaten zijn voldoende nauwkeurig om de alternatieven onderling te vergelijken en om een schatting van verandering van onderhoudsbehoefte af te geven.

In de berekeningen is rekening gehouden met de klimaatverandering waardoor op termijn randvoorwaarden (zeespiegel en golfaanval) zullen veranderen. In het MER wordt de horizon van 50 jaar beschouwd. Daarom zijn de berekeningen voor de alternatieven uitgevoerd voor het middenscenario (30 cm zeespiegelstijging in 50 jaar, golfrandvoorwaarden niet veranderd). Tevens is de gevoeligheid van het resultaat getoetst voor het maximum scenario (45 cm zeespiegelstijging in 50 jaar, 5% toename golfhoogte).

Details van de uitgevoerde modellering zijn te vinden in Bijlage 2.

Naast de kustlijnverandering berekent het model de hoeveelheden zand die langs de kust eroderen of worden afgezet. De erosiehoeveelheden zijn een maat voor de onderhoudsbehoefte van de kust. Daarbij wordt opgemerkt dat de erosie vanwege gradiënten in het langstransport slechts één van de processen is die de onderhoudsbehoefte bepalen; het verlies naar diep water door de dwarstransporten speelt ook een grote rol, en dit proces wordt niet meegenomen in Unibest-CL+. Om hierin inzicht te krijgen zijn berekeningen uitgevoerd met het dwarstransport model UNIBEST-TC (zie volgende paragraaf).

Berekeningen dwars sedimenttransport

Dwarstransportberekeningen die inzicht dienen te geven in mogelijke zandverliezen en de effectiviteit van de aanlegmethode zijn uitgevoerd met het UNIBEST TC model.

Verskillende stappen zijn ondernomen om de vragen te beantwoorden:

- Verzamelen van golfgegevens en waterstandsgegevens en deze bewerken tot bruikbare data als invoer voor het UNIBEST TC model (zie bijlage 1).
- Het uitvoeren van een dwarstransportberekening op Jarkusraai 106,23 uit 2000 nabij Kijkduin voor een periode van een jaar. Met de gemeten Jarkusraai van 2001 is het mogelijk te kwantificeren hoe goed het gebruikte model de morfologische ontwikkelingen in het gebied voorspelt. Hierbij zijn hydrodynamische gegevens uit het betreffende jaar gebruikt (zie bijlage 1).
- Het uitvoeren van dwarstransportberekeningen op Jarkusraai 109,20 uit 2005 nabij Solleveld voor een periode van 4 jaar. De tussentijdse uitvoer van de profielen laat de ontwikkeling van de onderwatersuppletie in de tijd zien.
- Het inzichtelijk maken van verliezen naar dieper water door middel van het analyseren van sedimenttransporten op verschillende locaties in de tijd.
- Het uitvoeren van volumeberekeningen op de 'jaarprofielen' zodat inzicht wordt verkregen in de locatie waar de grootste volumeveranderingen optreden.

Details van de berekeningen zijn opgenomen in Bijlage 2.

De resultaten van de afzonderlijke analyses zijn vervolgens geïntegreerd om tot een overall beeld van de morfologische processen (en daarmee tot de inschatting van de onderhoudsbehoefte nu en in de toekomst) te komen.

3.4 Onderhoudsbehoefte Delflandse kust

3.4.1 Huidig beleid zandsuppleties

Om de kustlijn te handhaven en de veiligheid van de duinen als waterkering te waarborgen voert Rijkswaterstaat een suppletieprogramma uit. In het verleden zijn de meeste suppleties in de vorm van strandsuppleties uitgevoerd (zie Tabel 3-1 tot en met Tabel 3-4). Het huidige beleid is dat de kustlijnhandhaving zo veel mogelijk wordt uitgevoerd met onderwatersuppleties. Bij deze suppleties wordt het zand globaal tussen de NAP -8 meter en NAP -5 meter contourlijnen aangebracht (zie Tabel 3-2 en Tabel 3-3).

Er zijn 3 vakken waar regelmatig wordt gesuppleerd:

- RSP 117,5-118,7: Van Dixhoorndriehoek bij Hoek van Holland (compensatie effecten van de Noorderdam);
- RSP 112,2 - 114,9: Ter Heijde;

- RSP 106,2 - 113,2: Kijkduin - Ter Heijde.
Tussen 1971 en 1990 is 22,2 Mm³ zand gesuppleerd (waaronder 18,9 Mm³ in 1971-1972), en tussen 1990 en 2005 is in totaal 13,2 Mm³ gesuppleerd.

Kustvak	Locatie	Jaar		Doelstelling	Raai		Lengte suppletie [m]	Totaal volume [m ³]	Volume per meter [m ³ /m]	Type suppletie
		Begin	Eind		Begin	Eind				
Delfland	Hoek van Holland	1993	1993	kustlijnhandhaving	114	118.75	4750	463,000	97.5	strandsuppletie
Delfland	Hoek van Holland	2000	2000	kustlijnhandhaving	117.5	118.5	1000	200,000	200.0	strandsuppletie
Delfland	Hoek van Holland	2003	2003	kustlijnhandhaving	117.5	118.5	1000	213,606	213.6	strandsuppletie
Delfland	Hoek van Holland	2004	2004	kustlijnhandhaving	117.5	118.5	1000	230,000	230.0	strandsuppletie
Delfland	Hoek van Holland	1990	1990	recreatie	117.75	118.75	1000	183,000	183.0	strandsuppletie
Delfland	Hoek van Holland	1991	1991	kustlijnhandhaving	117.75	118.75	1000	223,000	223.0	strandsuppletie
Delfland	Hoek van Holland	1992	1992	kustlijnhandhaving	117.75	118.75	1000	560,000	560.0	strandsuppletie
Delfland	Hoek van Holland	1994	1994	kustlijnhandhaving	117.75	118.75	1000	200,000	200.0	strandsuppletie
Delfland	Hoek van Holland	1995	1995	kustlijnhandhaving	117.75	118.75	1000	200,000	200.0	strandsuppletie
Delfland	Hoek van Holland	1996	1996	kustlijnhandhaving	117.75	118.75	1000	200,000	200.0	strandsuppletie
Delfland	Hoek van Holland	1997	1997	kustlijnhandhaving	117.75	118.75	1000	200,000	200.0	strandsuppletie
Delfland	Hoek van Holland	1999	1999	kustlijnhandhaving	117.75	118.5	750	200,680	267.6	strandsuppletie
totaal suppleties 1990-2005								3,073,286		
gemiddelde suppletie per jaar								204,886		

Tabel 3-1: Suppleties raai 114,00 - 118,75 km (na 1990) [bron: zand suppleties database, RIKZ 2005]

Kustvak	Locatie	Jaar		Doelstelling	Raai		Lengte suppletie [m]	Totaal volume [m ³]	Volume per meter [m ³ /m]	Type suppletie
		Begin	Eind		Begin	Eind				
Delfland	Ter Heijde	1995	1995	kustlijnhandhaving	112.21	114.5	2290	300,000	131.0	strandsuppletie
Delfland	Ter Heijde	1997	1997	kustlijnhandhaving	113.15	114.85	1700	1,028,950	605.3	onderwatersuppletie
totaal suppleties 1990-2005								1,328,950		
gemiddelde suppletie per jaar								88,597		

Tabel 3-2: Suppleties raai 112,20 - 114,90 km (na 1990) [bron: zand suppleties database, RIKZ 2005]

Kustvak	Locatie	Jaar		Doelstelling	Raai		Lengte suppletie [m]	Totaal volume [m ³]	Volume per meter [m ³ /m]	Type suppletie
		Begin	Eind		Begin	Eind				
Delfland	Kijkduin-Ter Heijde	2001	2001	kustlijnhandhaving	107.4	112.5	5100	3,581,899	702.3	onderwatersuppletie
Delfland	Kijkduin-Ter Heijde	2001	2001	kustlijnhandhaving	108	112	4000	801,178	200.3	strandsuppletie
Delfland	Ter Heijde	1993	1993	kustlijnhandhaving	106.23	112.21	5980	1,143,000	191.1	strandsuppletie
Delfland	Ter Heijde	1997	1997	kustlijnhandhaving	107.5	112.5	5000	834,000	166.8	strandsuppletie
Delfland	Ter Heijde	2003	2003	kustlijnhandhaving/veiligheid	107.73	113.19	5460	1,252,797	229.5	strandsuppletie
Delfland	Ter Heijde	2004	2004	veiligheid	107.73	113.19	5460	1,150,000	210.6	strandsuppletie
totaal suppleties 1990-2005								8,762,874		
gemiddelde suppletie per jaar								584,192		

Tabel 3-3: Suppleties raai 106,20 - 113,20 km (na 1990) [bron: zand suppleties database, RIKZ, 2005]

Kustvak	Locatie	Jaar		Doelstelling	Raai		Lengte suppletie [m]	Totaal volume [m ³]	Volume per meter [m ³ /m]	Type suppletie
		Begin	Eind		Begin	Eind				
Delfland	Kijkduin-Ter Heijde	1986	1986	veiligheid	107.73	115.61	7880	1,900,000	241.1	strandsuppletie
Delfland	Kijkduin-Ter Heijde	1986	1986	veiligheid	107.73	115.61	7880	-1,300,000	165.0	landw.duinverzw. *)
Delfland	Hoek van Holland	1971	1972	zandberging en recreatie	115.7	118.75	3050	18,940,000	6209.8	strandsuppletie
Delfland	Hoek van Holland	1976	1976	recreatie	115.7	119	3300	1,500,000	454.5	strandsuppletie
Delfland	Hoek van Holland	1977	1977	recreatie	115.7	118.75	3050	870,000	285.2	strandsuppletie
Delfland	Hoek van Holland	1988	1988	recreatie	118	118.5	500	200,000	400.0	strandsuppletie
Delfland	Hoek van Holland	1989	1989	recreatie	118	118.5	500	100,000	200.0	strandsuppletie
totaal suppleties 1970-1990								22,210,000		
gemiddelde suppletie per jaar								1,110,500		

*) strandsuppletie na ontzitting naar binnenduinen in 1987

Tabel 3-4: Suppleties raai 107,70 - 118,75 km (voor 1990) [bron: zand suppleties database, RIKZ, 2005]

De suppletievolumes uit de bovenstaande tabellen zijn in de vervolparagrafen gebruikt bij de bepaling van de onderhoudsbehoefte van de Delflandse kust.

In een rapport van RIKZ (2002) is het effect van onderwatersuppleties bij Ter Heijde bestudeerd. Hierin wordt geconcludeerd dat:

- de effectiviteit van deze suppleties ca. 20% bedraagt, d.w.z. 20% van de onderwatersuppletie komt in het MKL-rekenschijf terecht, en zorgt voor de zeewaartse verschuiving van de MKL en daarbij behorende toename kustprofiel;
- de levensduur van onderwatersuppleties meer dan 5 jaar is;
- binnen enkele maanden er een zandbank ontstaat die zich landwaarts verplaatst;
- de strandbreedte nauwelijks verandert.

Effecten van suppleties langs de Delflandse kust zijn ook door Alkyon (2002) beschouwd. Zij concluderen dat:

- Doordat het volume opgespoten zand bij Van Dixhoorndriehoek groter is dan de transportcapaciteit, draagt het niet alleen bij aan het langtransport, maar ook aan de volumevergroting van de Van Dixhoorndriehoek zelf;
- Noordwaarts van de Noorderdam neemt de transportcapaciteit geleidelijk af. Dit betekent dat het zand dat bij de Van Dixhoorndriehoek gesuppleerd wordt eigenlijk alleen ten goede komt aan de kustlijnsectie tot ongeveer 2 tot 3 kilometer ten noorden van de Noorderdam.

In de volgende paragrafen wordt de kustontwikkeling in relatie tot uitgevoerde suppleties geanalyseerd om tot onderhoudsbehoefte te komen.

3.4.2 Zandbalans en onderhoudsbehoefte

Methode I : kubering Jarkusraaien

De voornaamste vragen die in deze analyse beantwoord moeten worden zijn: hoe groot zijn de zandverliezen van de Delflandse kust, en wat gebeurt er met het zand dat wordt opgespoten. Om daar antwoord op te geven is een vergelijking gemaakt tussen de volumeverandering t.o.v. 1990 in de periode 1990 - 2005 en de toegepaste suppleties in deze periode. Deze vergelijking is grafisch weergegeven in Afbeelding 3-3, en de belangrijkste numerieke resultaten zijn gepresenteerd in Tabel 3-5. Een vergelijkbare analyse is tevens uitgevoerd voor de periode 1975-1990 (na de aanleg van de Van Dixhoorndriehoek in 1970). De resultaten daarvan zijn ook opgenomen in Tabel 3-5.

Periode	Netto volumeverandering	Volumeverandering / jaar
1975-1990		
volumeverandering	1,15 Mm ³	0,08 Mm ³ /jaar
suppleties	3,30 Mm ³	0,22 Mm ³ /jaar
verschil	-2,15 Mm ³	-0,14 Mm ³ /jaar (65% gesuppleerd zand)
1990-2005		
volumeverandering	9,94 Mm ³	0,66 Mm ³ /jaar
suppleties	13,17 Mm ³	0,88 Mm ³ /jaar
verschil	-3,22 Mm ³	-0,21 Mm ³ /jaar (24%)

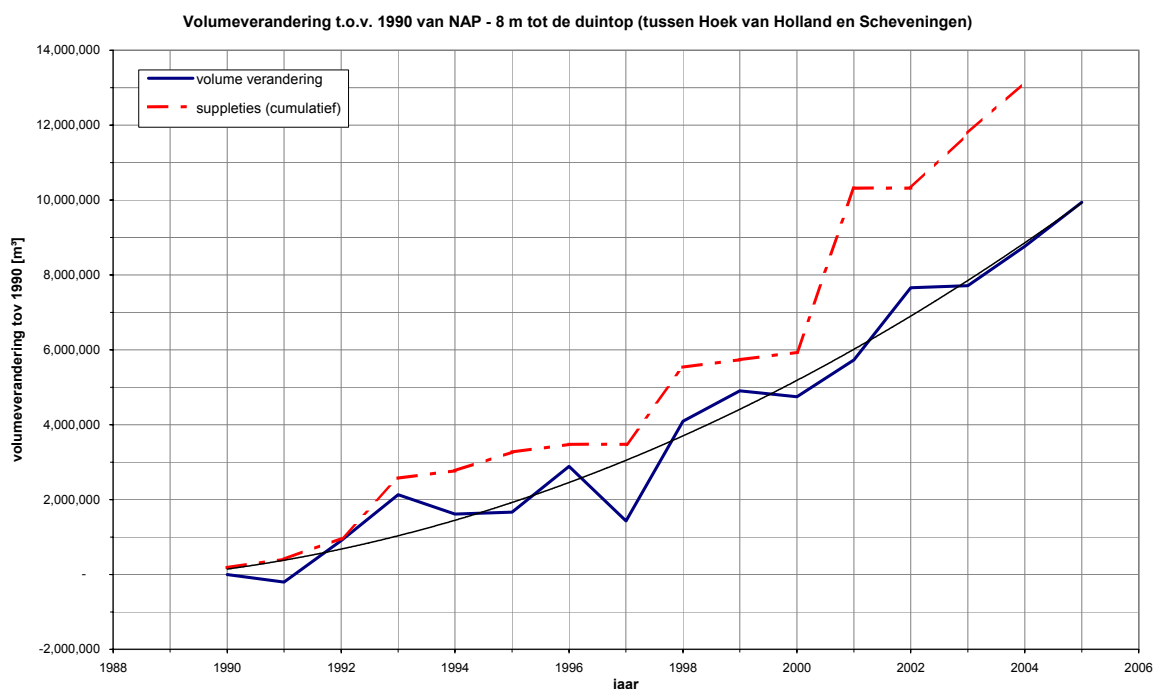
1990-2000		
volumeverandering	4,75 Mm ³	0,47 Mm ³ /jaar
suppleties	5,94 Mm ³	0,59 Mm ³ /jaar
verschil	-1,19 Mm ³	-0,12 Mm ³ /jaar (20%)
2000-2005		
volumeverandering	5,19 Mm ³	1,04 Mm ³ /jaar
suppleties	7,63 Mm ³	1,53 Mm ³ /jaar
verschil	-2,44 Mm ³	-0,49 Mm ³ /jaar (32%)

Tabel 3-5: Volumeverandering in de zone tussen NAP -8m en duintop en zandsuppleties voor verschillende periodes, voor de gehele Delflandse kust.

Uit Tabel 3-5 en Afbeelding 3-3 kunnen de volgende conclusies worden getrokken:

- De gemiddelde toename van zandvolume in de periode 1975-1990, direct na de aanleg van de Van Dixhoorndriehoek, bedraagt 0,08 Mm³/jaar; in deze periode is 0,22 Mm³/jaar gesuppleerd, de verliezen bedragen dus ca. 0,14 Mm³/jaar. Hierbij wordt opgemerkt dat er in 1987 een grote suppletie van 1,9 Mm³/jaar tussen Ter Heijde en Kijkduin is uitgevoerd, waarvan 1,3 Mm³/jaar vervolgens naar de binnenduinen is verplaatst. Dit introduceert een vrij grote onzekerheid m.b.t. het suppletievolume dat in deze analyse moet worden gebruikt omdat het onduidelijk is welk volume in de kuberingsvakken is overgebleven (aangenomen: 1,9 - 1,6 = 0,3 Mm³/jaar). Tevens heeft zich in deze periode een nieuw evenwicht moeten instellen na de aanleg van de Van Dixhoorndriehoek, waardoor de gevonden waarden waarschijnlijk een vertekend beeld geven van de verliezen in de evenwichtssituatie.
- De gemiddelde toename van zandvolume over de periode 1990-2005 bedraagt ca. 0,66 Mm³/jaar;
- In Afbeelding 3-3 zijn duidelijk twee verschillende periodes te onderscheiden. Tussen 1994 en 2001 zien we een grofweg constant verschil tussen het aangebrachte volume zand en het aanwezige volume in de ondiepe vooroever zone (boven NAP -8m). In 2001 is een omvangrijke (3,6 Mm³) onderwatersuppletie bij Ter Heijde uitgevoerd. Hierdoor is een versnelde toename van volume in de periode na 2001 te zien. Het verschil in de gemiddelde aangroeisnelheid vóór en na 2001 bedraagt ruim 50% (0,47 Mm³/jaar vs. 1,04 Mm³/jaar, zie Tabel 3-5).
- De toegenomen suppleties vanaf 2001 leiden tot meer zandverlies (zand dat uit het kustvak verdwijnt naar diepwater en voorbij de havendam van Scheveningen). Gemiddeld over de periode 1990-2005 bedragen deze verliezen 24%, maar na 2000 stijgen de verliezen tot 32% van het aangebrachte zand. Dit is te verklaren door de reeds genoemde, relatief grotere bijdrage van onderwatersuppleties in deze periode waarbij grotere verliezen optreden. Opgemerkt wordt dat de relatieve grootte van verliezen afhankelijk is van de suppletieomvang (grootte van de verstoring van het natuurlijke systeem). De suppletie van 3,6 Mm³ binnen één jaar en op een relatief kort traject heeft een grote verstoring van het systeem teweeggebracht. Bij een kleinere suppletie zal naar verwachting het percentage verlies naar diepwater kleiner zijn.
- De verliezen in het aangebrachte zand zijn een maat voor de suppletiebehoefte van de kust.

- Uit de gemiddelde zandverliezen die in Tabel 3-5 zijn opgesomd volgt dat de zandverliezen gemiddeld over de afgelopen 15 jaar ca. 0,2 Mm³/jaar bedragen, en gemiddeld over de afgelopen 5 jaar ca. 0,5 Mm³/jaar. Uit de andere analyses die in deze memo zijn beschreven volgt dat op de Delflandse kust *als geheel* gezien meer wordt gesuppleerd dan de totale verliezen bedragen. Dit komt mede doordat het zand door het langstransport naar het noorden wordt vervoerd waardoor een deel van het gesuppleerde zand buiten de erosievakken belandt en geen bijdrage levert aan de kustlijnhandhaving.



Afbeelding 3-3: Vergelijking suppleties met de volumeverandering in de periode 1990 - 2005 t.o.v. 1990

Opmerking: In deze analyse is geen rekening gehouden met het feit dat bij onderwatersuppleties het zand deels buiten de grens van de analysezone wordt aangebracht; dit wordt in deze analyse als verlies naar diepwater gerekend. Hierdoor wordt het verlies naar diepwater enigszins overschat. Echter, het grootste deel van suppleties is in de vorm van strandsuppleties uitgevoerd, waardoor deze overschatting nauwelijks invloed heeft op de gepresenteerde resultaten.

Uit de kubering van Jarkus raaien kan ook veel informatie over de ruimtelijke verandering (d.w.z. langs de kust) van het zandvolume in de tijd worden gehaald. Deze informatie is echter minder relevant voor het doel van de huidige analyse, daarom is de uitgebreide bespreking daarvan opgenomen in Bijlage 2.

Methode II: Volumebepaling in GIS

In het voorgaande zijn de volumeveranderingen langs de Delflandse kust bepaald door de afzonderlijke raaien te integreren en de resultaten daarvan in Excel te bewerken. Hier is een alternatieve methode gekozen, nl. de kust is opgedeeld in een 7-tal vakken met een lengte van 2-3 km, en voor de periode 1990-2005, in stappen van 2 jaar, zijn de volumes in deze vakken vanaf de duintop tot NAP -5m resp. tot NAP -8m t.o.v. 1990 bepaald door de Jarkusraaien in GIS

te interpoleren. De grenzen van de vakken zijn zodanig gekozen dat ze overeenkomen met de grenzen van de suppletievakken. Sommige suppletievakken zijn aanzienlijk groter dan de vakken in deze analyse. Voor deze vakken is uitgegaan van een proportionele verdeling van het suppletievolume over het vak. De resulterende volumeverandering per vak (van duintop tot NAP - 8m) is getoond in Afbeelding 3-4. In deze figuur is tevens de netto verandering (verschil tussen suppletievolume en de gemeten verandering) aangegeven.

Door de suppleties uit te zetten tegen de volumeverandering van de vakken kan een beeld worden geschetst van de zandverliezen die optreden over een kustvak. Het zand dat bij de suppleties vrijkomt kan zowel in langsrichting als in dwarsrichting worden getransporteerd. Wanneer het zand in langsrichting getransporteerd wordt zal het in de loop van de tijd een volgend vak binnenkomen. Bij dwarstransport zal het zand uit het systeem verdwijnen.

In een serie figuren achterin in bijlage 2 zijn de resultaten van de uitgevoerde analyse grafisch weergegeven. Naast de verandering van volume is voor elk vak de (gemeten) hoeveelheid van het gesuppleerde zand binnen het respectievelijke vak aangegeven. Een schetsmatige samenvatting van de resultaten daarvan is weergegeven in Afbeelding 3-4.

Beschouwing van de figuren in bijlage 2 leert het volgende (per vak, van west naar oost):

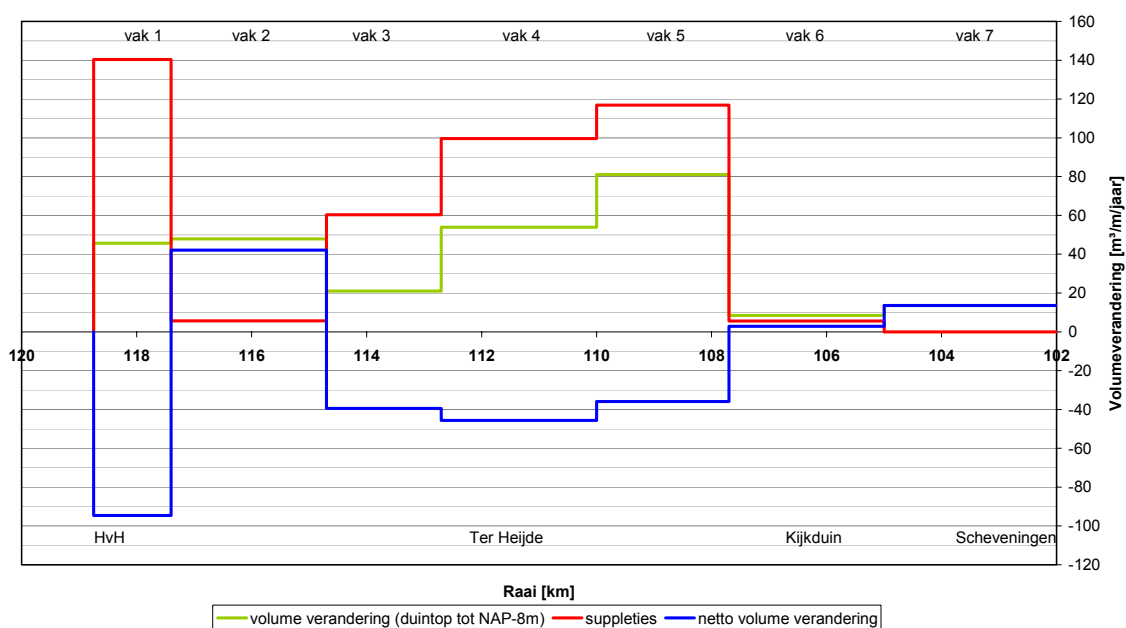
vak 118,7 - 117,4 (Van Dixhoordriehoek)	Na initiële toename tot 1998 een constant beeld, suppleties zijn in evenwicht met verliezen naar diep water; ondanks strandsuppleties vooral toename van het dieper deel van het profiel; nu 1,7 Mm ³ meer zand dan in 1990.
vak 114,7 - 117,4	Een constante toename volume, door natuurlijke aangroei, die bijna volledig in ondiep gedeelte van het profiel plaatsvindt; nu 2,1 Mm ³ meer zand dan in 1990.
vak 112,7 - 114,7 (erosiezone ten zuiden van ter Heijde)	In evenwicht met suppleties; nu 0,4 Mm ³ meer zand dan in 1990.
vak 110,0 - 112,7 (Ter Heijde)	Tot 2000 erosie, daarna geleidelijke uitbouw, in lijn met de opgevoerde suppleties; nu 2 Mm ³ meer zand dan in 1990; meer toename van de totale actieve zone (tot NAP - 8m) dan van ondiep deel → effect onderwatersuppletie; erosie had vooral betrekking op het dieper deel van het profiel.
vak 107,7 - 110,0 (erosiezone tussen Ter Heijde en Kijkduin)	Tot 1994 afname volume, daarna dankzij suppleties een geleidelijke toename; nu 2,7 Mm ³ meer zand dan in 1990.
vak 105,0 - 107,7 (Kijkduin)	Meer toename volume dan gesuppleerd → effect transport van westelijk aangebrachte suppleties; vanaf 2000 een gedeeltelijke afname, nu ongeveer gelijk aan situatie in

1990.

vak 102,0 - 105,0

Tot 1996 kleine afname volume, daarna vrijwel stabiel; geen suppleties in dit vak; uitbouw van dieper deel van het profiel → effect gedeeltelijke blokkering langstransport door de havendam Scheveningen.

Gemiddelde volumeverandering Delflandse kust 1990-2005



Afbeelding 3-4: Gemiddelde volume verandering 1990-2005 in afzonderlijke vakken

Algemeen geldt dat het volume in de totale actieve zone (tot NAP -8m) meer toeneemt dan het ondiepe deel daarvan (boven NAP -5m), dit ondanks overwegend strandsuppleties. Alleen bij Ter Heijde zien we een afname van de diepere zone t.o.v. de ondiepe zone; dit heeft vermoedelijk te maken met de werking van de lange strandhoofden, die het zand in de ondiepe zone vasthouden, en tegelijk een versteiling van de dieper gelegen zone veroorzaken.

Zone	Zandverliezen (Mm³/jaar)
Duintop tot NAP -5m	0,38
Duintop tot NAP -8m	0,30

Tabel 3-6: Gemiddelde netto zandverliezen Delflandse kust over de periode 1990-2005

De ruimtelijke verdeling van de volumeveranderingen over de periode 1990-2005 is weergegeven in Afbeelding 3-4. Met deze ruimtelijke verdeling van de verliezen dient bij het bepalen van de suppletiebehoefte rekening te worden gehouden; suppleties worden immers op specifieke locaties langs de kust aangebracht. De suppletiebehoefte wordt echter gemiddeld gegeven voor

de gehele Delflandse kust. Berekening van de netto³ zandverliezen over de periode 1990-2005 (sommatie van alleen verliezen) levert het volgende beeld op (Tabel 3-6):

Opgemerkt wordt dat deze verliezen bepaald zijn m.b.v. kubering in GIS, en bovendien het *netto* zandverlies vertegenwoordigen waardoor de gevonden waarden enigszins afwijken van de waarden in Tabel 3-5 waar voor dezelfde periode een *bruto* verlies van 0,21 Mm³/jaar in de zone tot NAP -8m is gevonden. Indien bruto verliezen worden beschouwd, komen resultaten van beide methoden vrijwel met elkaar overeen (een verschil van 2%).

Op basis van de resultaten van beide methoden wordt een schatting gemaakt voor de onderhoudsbehoefte van de Delflandse kust in de huidige situatie. Daarbij wordt het opgetreden zandverlies als maat voor de suppletiebehoefte genomen. Als ondergrens wordt de waarde van 0,3 Mm³/jaar uit Tabel 3-6 genomen. Omdat de zandverliezen op basis van de beschouwing van het afgelopen 5 jaar hoger blijken uit te vallen wordt de waarde van 0,49 Mm³/jaar (afgerond naar 0,5 Mm³/jaar) uit Tabel 3-5 als bovengrens voor de onderhoudsbehoefte aangehouden. Dit wordt vertaald naar *een onderhoudsbehoefte van 0,4 Mm³/jaar met een range van 0,3 - 0,5 Mm³/jaar.*

3.4.3 Effecten klimaatverandering

In RIKZ [2000] worden schattingen gemaakt van de suppletiebehoefte voor verschillende scenario's van klimaatverandering gebaseerd op schattingen van de ondiep water tekorten en zandbalans (zie onderstaande tekstkader).

Toekomstige zandbalans van het kustsysteem

Rekening houdend met deze mogelijke onderschatting in de beschikbare basisgegevens is bij de voorspelling van de toekomstige zandbalans zowel gerekend met een conservatief of minimum scenario -uitgaande van de onderzochte basisgegevens in de kustzone-, als met een maximum scenario -uitgaande van de zandvraag door Wadden en estuaria. Bij een zeespiegelstijging van 20 cm/eeuw zal de toekomstige zandbalans naar schatting variëren tussen gemiddeld -9 en -16 Mm³/jaar. Versnelt de stijging van de zeespiegel tot 60 cm/eeuw dan loopt het verwachte negatieve saldo op tot ergens tussen -16 en -31 Mm³/jaar.

bron: Zandverliezen in het Nederlandse kustsysteem, rapport RIKZ/2000.36, juni 2000

Op basis van dit rapport en een aanvullend overleg met RIKZ kan het volgende worden geconcludeerd:

- Uitgegaan wordt van een stijging van gemiddeld zeeniveau in de huidige situatie (anno 2006) met 20 cm per eeuw.
- Het kustfundament (van NAP -20 m contour tot aan de duinen) dient mee te stijgen met deze zeespiegelstijging (=Handhaving kustfundament door middel van kustsuppleties)

³ Met het *bruto* zandverlies wordt hier de totale afname van zandvolume in het kustvak bedoeld (na aftrek van suppleties); dit verlies is kleiner dan het *netto* zandverlies, waarbij alleen de erosie (ook gecompenseerd voor suppleties) wordt opgeteld, d.w.z. zonder rekening te houden met het feit dat het geërodeerde zand deels elders in de vorm van aanzanding in de kustzone terechtkomt.

- Tot eind van de eeuw wordt rekening gehouden met een verdere zeespiegelstijging tot 2100 van 60 cm (middenscenario).
- De vooruitkijkhorizon voor de kustversterking van de Delflandse kust bedraagt 50 jaar. Uitgaande van een lineaire zeespiegelstijging (conservatieve aanname) zal na 50 jaar de zeespiegel met 30 cm stijgen.
- In de huidige situatie wordt de totale zandbehoefte van de Nederlandse kust om het kustfundament op peil te houden geschat op ca. 12 Mm³/jaar.
- Met de stijging van de het gemiddelde zeeniveau met 60 cm neemt de totale zandbehoefte toe tot ca. 19 Mm³/jaar. Deze "geringe" toename wordt voor een groot deel veroorzaakt door de zeer trage reacties van de estuaria. Voor de Hollandse kust geldt dat de suppletiebehoefte bijna recht evenredig toeneemt met de zeespiegelstijging (bron: RIKZ). Dit is voornamelijk extra suppletie ten behoeve van het op peil houden van het kustfundament, niet ten gevolge van kusterosie.
- Een stijging van de gemiddelde zeespiegel met 30 cm zal voor de Delflandse kust in de komende 50 jaar naar verwachting leiden tot een toename van onderhoudsbehoefte met 200% (bron: RIKZ). Deze schatting kan worden gezien als een maximum aangezien zij is gebaseerd op de volgende twee veronderstellingen. De eerste is dat de huidige onderhoudsbehoefte geheel samenhangt met de huidige zeespiegelstijging. Dat is echter niet het geval, omdat ook wordt gesuppleerd om op specifieke locaties erosie en terugschrijden van de kustlijn tegen te gaan. De tweede veronderstelt dat voldoende zand voldoende snel vanaf suppleties op de kust tot aan de NAP -20 meter contour zal worden getransporteerd als gevolg van kustmorfologische processen.

3.4.4 Onderhoudsbehoefte referentiesituatie

De voorgaande uitgevoerde analyses geven aanleiding tot de volgende conclusies met betrekking tot de onderhoudsbehoefte in de referentiesituatie:

- Het totale volume zand langs de Delflandse kust neemt gestaag toe. Over de periode van 15 jaar (1990 - 2005) is circa 13,2 Mm³ zand gesuppleerd, en het zandvolume in de actieve zone (tussen NAP -8m en de duintop) is met 9,9 Mm³ toegenomen. Dit betekent dat het verlies door erosie voor de hele Delflandse kust circa 24 % bedraagt (0,21 Mm³/jaar, zie Tabel 3-5).
- Tussen 2000 en 2005 is naar verhouding aanzienlijk meer zand gesuppleerd (7,6 Mm³, waarvan 3,6 Mm³ onderwater suppletie) dan in de voorgaande jaren. De verliezen naar diep water namen meer dan evenredig toe, en bedroegen 32% (0,49 Mm³/jaar, zie Tabel 3-5).
- De totale netto erosie in de kuberingsvakken over de periode van 15 jaar bedraagt 0,3 Mm³/s. Dit wordt aangehouden als de ondergrens voor de onderhoudsbehoefte van de Delflandse kust. Als bovengrens wordt de waarde van 0,5 Mm³/jaar aangehouden, op basis van de toegenomen verliezen na 2001. De onderhoudsbehoefte van de Delflandse kust in de huidige situatie wordt daarmee geschat op **0,4 Mm³/jaar**, met een **bandbreedte van 0,3 - 0,5 Mm³/jaar**.
- Het effect van de klimaatverandering in de 21 eeuw wordt geschat op een toename van de onderhoudsbehoefte met ca. 200% ten opzichte van de huidige situatie over 50 jaar. Uitgaande van de huidige onderhoudsbehoefte van 0,3 - 0,5 Mm³/jaar wordt de onderhoudsbehoefte bij de autonome ontwikkeling geschat op **0,9 -1,5 Mm³/jaar**.

3.5 Bepaling invloed alternatieven op onderhoudsbehoefte

De onderhoudsbehoefte behorende bij de in het MER onderzochte alternatieven kan afwijken van de onderhoudsbehoefte in de referentiesituatie. Een afwijking is mogelijk als gevolg van

- een verandering in de ligging van de kustlijn waardoor het kustlangs transport kan wijzigen;
- een verandering in de locatie van de kustlijn (bijvoorbeeld verder zeewaarts), waardoor wijzigingen in het kustdwars transport op kunnen treden (als gevolg van bijvoorbeeld een steiler profiel);
- wijzigingen in het functioneren van de langs de kust aanwezige strandhoofden als gevolg van het afdekken ervan.

De invloed van bovenstaande mogelijke wijzigingen op het kustonderhoud als gevolg van de verschillende alternatieven is onderzocht. In de komende paragrafen 3.5.1 tot en met 3.5.4 worden deze onderzoeken uitgewerkt.

3.5.1 Invloed kustlijn alternatieven op onderhoudsbehoefte

Invloed alternatieven op ligging kustlijn

Bij de alternatieven zal de richting van de kustlijn niet significant veranderen t.o.v. de huidige ligging. Bij de alternatieven *Zeewaarts verbreden* en *Royaal zeewaarts verbreden* wordt in principe uitgegaan van een horizontale zeewaartse verschuiving van de kustlijn, zij het in verschillende mate. Bij het alternatief *Verhoogde duinen* wordt de duinversterking ten behoeve van de veiligheid grotendeels binnen het huidige kustprofiel gerealiseerd. Een uitzondering daarop is de strandverbreding die bij *Verhoogde duinen* plaatsvindt voor stimuleren van de duinvorming.

De aanleg van de duincompensatie voor Maasvlakte 2 resulteert daarnaast bij alle alternatieven in een zeewaartse verlegging van de kustlijn. Voor de duincompensatie (met een totaal oppervlak van ca 35 ha) is door Alkyon (2004) (opgenomen als bijlage 1 in het Programma van Eisen voor natuurcompensatie aanwinning Maasvlakte-2 (PMR-U, 2004)), bepaald dat de onderhoudsbehoefte van de Delflandse kust door de aanleg met mogelijk ca. 50.000 m³/jaar zal afnemen als gevolg van langsstrekken van de kustlijn. Dit is een afname van ca. 15% in vergelijking met de huidige onderhoudsbehoefte. Omdat de richting van de kustlijn verder nauwelijks verandert zal de verandering in de verdeling van de langstransporten langs de kust niet groot zijn.

Op basis hiervan wordt geconcludeerd dat de onderhoudsbehoefte van de Delflandse kust *als gevolg van veranderde kustlijn oriëntatie nauwelijks zal worden beïnvloed door de aangebrachte kustversterking*. Het langsstrekken van de kustlijn kan zelfs tot enige afname van de onderhoudsbehoefte leiden, al moet deze schatting met enige voorzichtigheid worden gehanteerd. Dit beeld wordt bevestigd door de uitgevoerde modelberekeningen die in het vervolg van deze paragraaf zijn beschreven.

Kustlangs sedimenttransport

Inleiding

In het kader van project Zwakke Schakel Delflandse kust worden verschillende alternatieven voor de kustversterking ontworpen. Doordat er bij al deze alternatieven de ligging van de kustlijn wordt veranderd is de verwachting dat het sedimenttransport langs de kust ook verandert. Dit is van invloed op de totale onderhoudsbehoefte van de kust. Het doel van deze analyse is om (per alternatief) aan te geven welke invloed de voorgestelde wijzigingen op de onderhoudsbehoefte zullen hebben, en de alternatieven op dit aspect onderling te vergelijken. De kwantificering van de effecten van alternatieven is gebaseerd op berekeningen met het 1D kustlijnmodel. Daarbij is gebruik gemaakt van de morfologische analyse die gerapporteerd is in de voorgaande paragrafen. Calibratie van het model en de resultaten van berekeningen zijn in detail besproken in Bijlage 2. Hier worden alleen de belangrijkste resultaten en conclusies besproken.

Autonome ontwikkeling

De autonome ontwikkeling in deze analyse is gedefinieerd als de ontwikkeling van de huidige kustlijn die door de klimaatverandering zwaarder wordt aangevallen.

De inschatting van kustontwikkeling bij autonome ontwikkeling is gedaan voor de situatie over 50 jaar, met de daarbij behorende klimaatontwikkeling. Daarbij is uitgegaan van het midden-scenario volgens de Leidraad Zandige Kust (0,3 m zeespiegelstijging, geen verandering van golfklimaat). Om de gevoeligheid van het resultaat te bepalen, zijn dezelfde berekeningen ook voor het maximum scenario (0,45 m zeespiegelstijging, 5% toename in golfhoogte) uitgevoerd. Het verschil tussen het minimum en het midden scenario voor horizon van 50 jaar - 0.2 m verschil in zeespiegelstijging - is te klein om een significant verschil in de zandtransporten te veroorzaken. De morfologische berekeningen zijn uitgevoerd voor een gemiddeld golfklimaat. De zeer zware stormen leveren vanwege hun korte duur een relatief kleine bijdrage aan het jaartransport, daarom zijn deze buiten beschouwing gelaten.

De klimaatsverandering leidt tot een toename van zandverliezen met 2% (middenscenario) en 14% (maximumscenario) t.o.v. de huidige situatie. In de eerder beschreven morfologische analyse (zie paragraaf 3.4.3) wordt geconcludeerd dat de verliezen naar diepwater over 50 jaar met 200% zullen toenemen. Dit wordt vooral veroorzaakt door het op peil houden van het kustfundament, een menselijke ingreep (uitvoeren van beleid) dat niet door het model kan worden voorspeld. *Het effect van de verandering in het langstransport door alternatieven is dus een orde kleiner dan het effect van het op peil houden van het kustfundament.*

Vergelijking van alternatieven

De kustontwikkeling is vergeleken voor een drietal alternatieven: verhoogde duinen, zeewaarts verbreden en royaal zeewaarts verbreden. Voor elk van deze alternatieven is de kustlijn bepaald aan de hand van de opgestelde ontwerpen voor deze drie alternatieven. Vervolgens is voor deze drie alternatieven de kustontwikkeling berekend met Unibest CL+. In Afbeelding 3-5 is deze vergelijking grafisch weergegeven. De berekeningen zijn uitgevoerd voor het middenscenario.

Als gevolg van getijstromingen en golfgedreven stromingen ontstaat zandtransport langs de kust. Indien het transport langs een kustvak constant blijft, is dit kustvak in evenwicht. De veranderingen in de ligging van de kustlijn ontstaan door verandering van de zandtransport langs de kust. Bij een afname van het transport, bijvoorbeeld door de afscherpende werking van havendammen ontstaat aanzanding; bij een toename van zandtransport treedt erosie op en gaat de kustlijn achteruit.

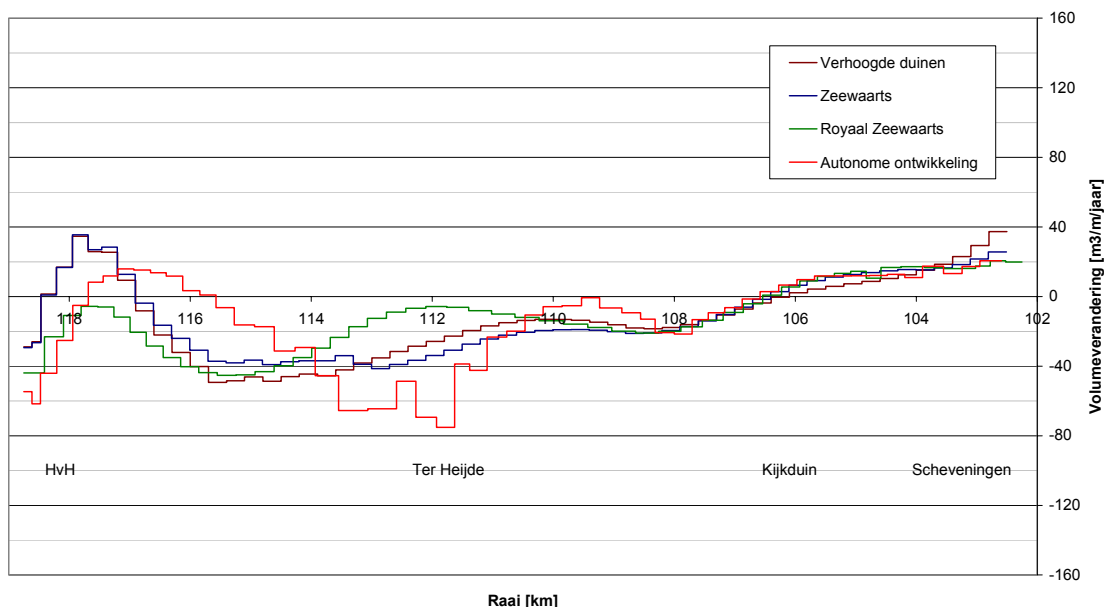
Het huidige kustlangs zandtransport van zuid naar noord bedraagt ca. 160.000-180.000 m³/jaar (huidige berekeningen, Alkyon [2002], Van Rijn [1995]). Bij het ontstaan van een gradiënt in het kustlangs transport vindt erosie dan wel sedimentatie plaats. Bij de Delflandse kust blokkeert de Noorderdam bij Hoek van Holland nagenoeg volledig het zandtransport van zuid naar noord. Omdat ten noorden van de dam wel transportcapaciteit bestaat maar geen zand wordt aangevoerd wordt het zand aan de kust onttrokken en is er sprake van erosie. Dit is goed te zien in Afbeelding 3-5 waarin de verandering van de kustlijn (uitgedrukt in volume erosie resp. aanzanding per strekkende meter per jaar) is getoond. In de huidige situatie wordt het zand geërodeerd bij Hoek van Holland (Van Dixhoorndriehoek) en bij Ter Heijde. Tussen deze twee plaatsen ligt een grote aanzandingszone. In de nieuwe situatie is de kustlijn meer geoptimaliseerd. Hierdoor is de erosie ten noorden van het PMR duincompensatiegebied aanzienlijk kleiner geworden. De erosie bij Ter Heijde is nagenoeg verdwenen.

Gevoeligheid initiële ligging van de kustlijn bij Hoek van Holland

Er is onderzoek gedaan naar de gevoeligheid van de initiële ligging van de kustlijn van Hoek van Holland in een gebied van ongeveer 1 km ten noorden van de Noorderdam. De initiële kustlijn bij de Noorderdam is hiervoor zowel zeewaarts als landwaarts verplaatst over een afstand van 100 resp. 200 m, en na 1 km sluit deze aan op de ontwerp kustlijn. Het effect van de aangepaste kustligging nabij de Noorderdam beperkt zich tot de eerste 6 km ten noorden van de Noorderdam.

Het verder zeewaarts leggen van de initiële kustlijn veroorzaakt een lokale aanzanding bij de Noorderdam, gevolgd door een versterkte erosie bij het PMR duincompensatie gebied. Daarentegen leidt het meer landwaarts leggen van de kustlijn bij de dam tot een sterkere erosie bij de dam gevolgd door een grotere aanzanding bij het duincompensatie gebied, waarachter weer een grotere erosie optreedt. Geconcludeerd wordt dat de *voorgestelde ontwerp kustlijn uit het kustversterkingsplan een vrij optimale kustlijn voorstelt*, waarbij de kustprocessen zich gelijkmatig af zullen spelen. Daarbij wordt opgemerkt dat de hier beschouwde situatie vrij extreem is waardoor lokaal bij de haven dam de kustlijn behoorlijk verandert. Bij een veel kleinschaliger veranderingen die een geringe invloed hebben op de kustlijnoriëntatie zullen de effecten veel kleiner zijn.

Vergelijking volumeverandering Delflandse kust voor verschillende alternatieven



Afbeelding 3-5: Vergelijking van de autonome ontwikkeling met de drie alternatieven voor kustontwikkeling; lijnen in de figuur geven de verandering van de kustlijn weer, uitgedrukt in de jaarlijkse erosie/aanzanding per strekkende meter.

Invloed van alternatieven op de onderhoudsbehoefte

De uitgevoerde berekeningen geven een indicatie van de onderhoudsbehoefte voor verschillende alternatieven. Deze berekende zandverliezen zijn weergegeven in Tabel 3-7. Deze verliezen hebben alleen betrekking op het langtransport, er is geen rekening gehouden met verliezen naar diep water (buiten de NAP -8m contour).

Alternatief	Verandering onderhoudsbehoefte t.o.v. huidige situatie
Autonome ontwikkeling (middenscenario, 50 jaar)	2 %
Autonome ontwikkeling (maximumscenario, 50 jaar)	14 %
Zeewaarts verbreden (middenscenario, 50 jaar)	-2 %
Royaal zeewaarts verbreden (middenscenario, 50 jaar)	-10 %
Verhoogde duinen (middenscenario, 50 jaar)	-2 %

Tabel 3-7 Berekende zandverliezen t.g.v. gradiënten in het langtransport (effecten exclusief het op peil houden van het kustfundament)

Voor de onderhoudsbehoefte in de huidige situatie is in paragraaf 3.4.4 een waarde van 0,4 Mm³/jaar afgeleid. In Tabel 3-7 is de met model berekende verandering van de onderhoudscapaciteit relatief t.o.v. ten opzichte van de huidige situatie aangegeven.

Zoals blijkt uit Tabel 3-7 zorgen de drie alternatieven voor de kustontwikkeling niet voor een toename van het zandverlies t.o.v. de huidige situatie. De resultaten van modelberekeningen suggereren dat er een relatief geringe afname (2-10%) van de onderhoudsinspanning kan worden verwacht als gevolg van de gewijzigende oriëntatie van de kustlijn. Deze voorspelde afname van de onderhoudsinspanning is (deels) het gevolg van het langsstrekken van de kust door de aanleg van het duincompensatiegebied zoals eerder beschreven. De aanleg van dit duincompensatiegebied is namelijk in alle alternatieven meegenomen. Daarom is de voorspelde afname niet direct (geheel) een gevolg van de aanleg van de alternatieven. Bovendien zijn de verschillen in de zandverliezen tussen de alternatieven relatief klein en vallen binnen de foutmarge van de berekening (geschat op +/-100%). Geconcludeerd kan worden dat de *alternatieven niet onderscheidend zijn in deze analyse.*

Zoals reeds eerder bij de bespreking van de autonome ontwikkeling aangegeven, hebben de gepresenteerde resultaten betrekking op de effecten t.g.v. gewijzigd zandtransport, en zijn dus exclusief de toename van suppletiebehoefte om het kustfundament op peil te houden. De uitgevoerde analyse heeft uitsluitend betrekking op het langstransport, en negeert de dwarstransport processen en negeert tevens invloed van de strandhoofden. Beide effecten zijn nader onderzocht en worden beschreven in de volgende twee paragrafen.

3.5.2 Invloed aanpassing dwarsprofiel op onderhoudsbehoefte

Kustdwars sedimenttransport

Inleiding

In deze paragraaf wordt ingegaan op de sedimenttransport processen die mede van belang zijn voor het opstellen van de alternatieven. Op de daadwerkelijke vertaling naar de benodigde hoeveelheden per alternatief wordt ingegaan in hoofdstuk 4.

Bij het bepalen van de benodigde hoeveelheden zand voor de versterking wordt uitgegaan van het zeewaarts verschuiven van het bestaande dwarsprofiel. Ook bij het opstellen van de ontwerpen is hiervan uitgegaan. Hoewel in deze fase nog geen uitvoeringsmethode van de werkzaamheden wordt vastgelegd, is het aannemelijk dat het profiel dat ontstaat door het verschuiven van het bestaande profiel niet direct aan te leggen is. In deze analyse zijn een aantal aannames gedaan omtrent de uitvoering om eventuele effecten daarvan in beeld te krijgen.

Voor de alternatieven waarbij de kustlijn zeewaarts wordt verbreed dient nader inzicht te worden verkregen in de effectiviteit van de aanlegmethode (grotendeels onderwatersuppletie) en de mogelijke zandverliezen die optreden naar dieper water. Met dit laatste kan namelijk de onderhoudsbehoefte worden afgestemd.

Uit evaluaties van eerder uitgevoerde onderwatersuppleties ten behoeve van kustlijnhandhaving [RIKZ, 2002] blijkt dat de ligging van de Momentane Kustlijn (MKL) in de jaren na het uitvoeren van de onderwatersuppletie zeewaarts verschuift. Aangezien de ligging van de MKL gerelateerd is aan het volume dat aanwezig is in de BKL zone kan worden geconcludeerd dat een zeewaartse verplaatsing van de MKL een toename van het volume in de BKL zone betekent. Tevens is waargenomen dat de duinvoet en de laagwaterlijn eveneens zeewaarts verplaatsen.

Daarnaast is door Witteveen & Bos en Koster Engineering (2006) een evaluatie van onderwatersuppletie uitgevoerd. Hierin wordt geconcludeerd dat de effectiviteit van onderwatersuppleties overwegend langdurig positief is (ca 7 jaar). Bij een onderwatersuppletie is de effectiviteit initieel nihil en vroeg of laat komt ca 20-30 % van de aangebrachte onderwatersuppletie in de BKL zone terecht. Strandsuppleties worden voor een periode van 3-5 jaar ontworpen. Hiervan is de effectiviteit initieel 100 % en dit neemt af tot nul.

Uit een analyse van de kosteneffectiviteit blijkt dat onderwatersuppleties de BKL op orde houden, maar tevens een bijdrage leveren aan het kustfundament. Beoordeeld is dat de onderwatersuppleties rendabel zijn geweest.

Op basis van bovenstaande kan worden verondersteld dat een onderwatersuppletie, uitgevoerd ten behoeve van versterking van de Delflandse kust, een positief effect zal hebben op het aanwezige zandvolume van de BKL zone. Toch is het wenselijk om extra onderzoek uit te voeren naar de morfologische ontwikkeling van de aangebrachte onderwatersuppletie om inzicht te krijgen in specifieke processen, waarvan de resultaten in de volgende paragraaf staan weergegeven.

Het doel van dit aanvullende onderzoek is:

- Inzicht krijgen in de zandverliezen naar diep water;
- Een inschatting maken van de zandverliezen bij het aanbrengen van de onderwatersuppletie tussen NAP -5 meter en NAP -8 m contour;
- Inzicht krijgen in de tijdschaal waarop de aangebrachte suppletie een positief effect heeft op de zandvolumes in de BKL zone.
- Inzicht verkrijgen in de effectiviteit van de aanlegmethode.

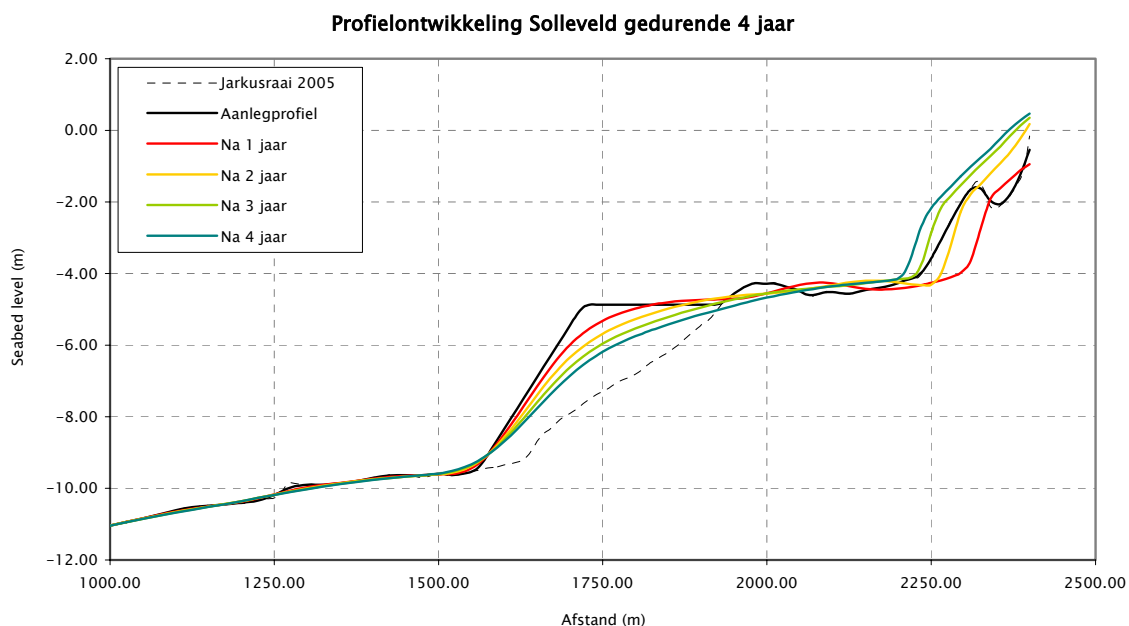
Omdat het om de globale karakterisering van profielontwikkeling van suppletie gaat zijn modelberekeningen voor slechts één dwarsprofiel uitgevoerd. Daarvoor is de locatie Solleveld gekozen.

De opzet, calibratie en resultaten van modelberekeningen worden uitgebreid besproken in Bijlage 2. In deze paragraaf wordt ingegaan op de belangrijkste resultaten en conclusies.

Profielontwikkeling na suppletie

De ontwikkeling van de suppletie is voor een periode van 4 jaar doorgerekend in UNIBEST-TC. De resultaten van de ontwikkeling van het profiel gedurende deze jaren is te zien in Afbeelding 3-6. Niet het gehele profiel is getoond, aangezien beneden NAP -11 m nauwelijks een verandering van het profiel plaatsvindt. Uit deze afbeelding blijkt dat de zandbult die tussen NAP -8m en NAP -5m wordt aangebracht zich naar hogere delen van het profiel verplaatst onder invloed van golf- en getijwerking die het dwarstransport veroorzaken.

Uit de modelberekening volgt dat er aanzanding plaatsvindt in de ondiepe zone. Door deze aanzanding wordt volgens het model het ontwerpprofiel benaderd in het vierde jaar na uitvoering van de suppletie. Echter voorzichtigheid dient geboden te worden met deze conclusie aangezien het model UNIBEST-TC in de ondiepe zone (boven NAP -3 meter) niet betrouwbaar blijkt te zijn.



Abbeelding 3-6: Ontwikkeling van de onderwatersuppletie gedurende 4 jaar nabij Solleveld
Ontwikkeling onderwatersuppletie Solleveld

Verliezen naar diep water

Uit de beschouwing van volumeveranderingen in het gehele profiel blijkt dat met name in het eerste jaar na het aanbrengen van de suppletie de grootste zandverliezen naar diep water worden voorspeld. In het 2^{de} en 3^{de} jaar na de suppletie vindt netto aanzanding plaats, terwijl in het laatste berekende jaar netto zand naar dieper water wordt getransporteerd. Dit resulteert over 4 jaar in een netto verlies van 76 (m³/m) naar dieper water in het profiel. Aangezien het profiel 2400 meter lang is, betekent deze netto volumeafname een gemiddelde verlaging van het gehele profiel met ca 3 cm. De voorspelde netto verliezen naar diep water bij het uitvoeren van een onderwatersuppletie nabij Solleveld zijn dus klein.

Uit een evaluatie van een onderwatersuppletie bij Ter Heijde door RIKZ [2002] blijkt ook dat nauwelijks zand is verdwenen naar dieper water aangezien vrijwel al het zand terug te vinden is in de actieve zone waarmee de resultaten van modelberekeningen worden bevestigd.

Conclusies

Uit de uitgevoerde berekeningen kan worden geconcludeerd dat:

- de optredende sedimenttransporten in positieve richting (richting land) vele malen groter zijn dan de transporten in negatieve richting (richting zee);
- de grootste transporten optreden in het meest ondiepe deel van het profiel. Deze transporten zullen niet bijdragen aan de verliezen naar diep water aangezien de transporten zich beperken tot ca 200 meter uit de kust. Deze transporten zijn wellicht geen reële transporten aangezien UNIBEST-TC het transport in de ondiepe zone niet goed voorspelt.
- de verliezen naar diep water waarschijnlijk gering zijn.

De hydrodynamische condities waarmee de vier jaren zijn berekend representeren een gemiddeld jaar [Burger, 2003] waarin geen extreme stormen zijn opgetreden. Uit bovenstaande resultaten wordt geconcludeerd dat onder deze condities nauwelijks verliezen naar diep water optreden. De verwachting is echter dat grotere zandverliezen naar dieper water op kunnen treden indien zwaardere stormen voorkomen. Dit wordt bevestigd door de analyse van Witteveen & Bos en Koster Engineering (2006) waaruit blijkt dat grotere verliezen naar diep water ook op kunnen treden.

3.5.3 Invloed versteiling vooroever op onderhoudsbehoefte

Uit de analyse in de voorgaande paragraaf kunnen geen conclusies worden getrokken met betrekking tot een wijzigende onderhoudsbehoefte als gevolg van de zeewaartse verbreding die in meer of mindere mate bij alle alternatieven plaatsvindt. In de betreffende analyse zijn namelijk niet de verschillende alternatieven vergeleken.

Hoewel verondersteld kan worden dat bij de aanleg gebruik gemaakt zal gaan worden van vooroeversuppleties is in de navolgende analyse een vergelijking gemaakt tussen de alternatieven waarbij uitgegaan is van het verschuiven van de bestaande kustlijn.

Als gevolg van de aanleg van de alternatieven verschuift de kustlijn in meer of mindere mate zeewaarts en versteilt het profiel. Het zeewaarts verschoven profiel sluit namelijk op NAP - 5 meter weer aan op het huidige profiel, waardoor een steilere helling ontstaat.

Volgens informatie ontvangen van RIKZ volgt uit berekeningen met het PONTOS model dat een steile vooroever een extra suppletiebehoefte geeft van ongeveer 10%. Dit geeft een indicatie van de marge m.b.t. verliezen naar diep water.

In een onderzoek van WL Delft Hydraulics en Alkyon (2006) is de invloed van verschillende scenario's op het kustonderhoud onderzocht. Eén van de bekeken scenario's is het Zwakke Schakels scenario, met de voorkeursalternatieven. Daarnaast zijn van de Zwakke Schakels de meest zeewaartse alternatieven in beschouwing genomen. Opgemerkt dient te worden dat de conclusies die naar aanleiding van de studie van WL getrokken kunnen worden betrekking hebben op de gehele Nederlandse Noordzeekust; alle zwakke schakels zijn in de berekening betrokken. De Delflandse kust is slechts een onderdeel van dit grote beschouwde kustvak.

Geconcludeerd wordt naar aanleiding van de berekening van het voorkeursalternatief van de Zwakke Schakels dat een minder steil aanlegprofiel initieel vraagt om een beperkter kustlijnonderhoud. Gesteld wordt dat er bij een steil aanlegprofiel sprake is van een soort uitgestelde aanleg waarbij een deel van het verschil in aanlegvolume op termijn in de vorm van extra kustonderhoud alsnog moet worden aangebracht.

Morfologisch gezien is het veel effectiever om iets meer kustonderhoud uit te voeren (bij een steil aanlegprofiel) dan een relatief flauwe overgang aan te leggen. Uiteindelijk heeft namelijk veel minder materiaal toegevoegd te worden bij een steil aanlegprofiel. Het verschil wordt verklaard doordat het toevoegen van materiaal in de strandlaag met het oog op kustlijnonderhoud uiterst effectief is. Alle op deze wijze aangebrachte materiaal draagt direct bij aan de BKL zone. Het aanbrengen van extra materiaal op de vooroever in de vorm van een flauwer dwarsprofiel is veel minder effectief indien alleen de BKL zone beschouwd wordt.



Op enige termijn is er in de berekening geen verschil meer zichtbaar in het uit te voeren kustonderhoud in vergelijking met de referentiesituatie. Dit is het moment dat de evenwichtssituatie is bereikt.

Geconcludeerd wordt uit de uitgevoerde modelberekeningen dat in het geval van de aanleg van het voorkeursalternatief van de Zwakke Schakels het onderhoud initieel toeneemt met orde 20%. Bij de uitvoering van de meest zeewaartse alternatieven van de Zwakke Schakels neemt het onderhoud met orde 25% toe. Op een termijn van ca 20 jaar is het effect van de versteilde vooroever tenietgedaan, er is dan ook geen sprake meer van een toename in het onderhoud als gevolg van de versteiling van de vooroever. In de eerste 20 jaar dient dus rekening te worden gehouden met extra ca. 25% onderhoudsinspanning.

Ten aanzien van het royaal zeewaarts alternatief zal het effect van het versteilen van de vooroever sterker zijn dan voor de overige alternatieven.

3.5.4 Invloed afdekken strandhoofden op onderhoudsbehoefte

Inleiding

Langs de Delflandse kust ligt een groot aantal strandhoofden. In de inrichtingsalternatieven waarbij de kustlijn zeewaarts verschuift, zal een deel van deze strandhoofden (deels) onder het zand verdwijnen. In deze analyse wordt aangegeven welke consequenties voor het kustonderhoud het afdekken van deze strandhoofden zal hebben.

Effectiviteit strandhoofden

Uit de uitgevoerde analyse van de morfologische ontwikkeling van de Delflandse kust (zie paragraaf 3.4) kan worden geconcludeerd dat de kustlijn in stand wordt gehouden middels suppleties. Het effect van de strandhoofden is er erg moeilijk in te onderscheiden (er is geen vergelijkbare situatie zonder strandhoofden). Het erosieve karakter van een groot deel van deze kuststrook duidt echter aan dat de werking van strandhoofden zeker niet optimaal is, aangezien de Delflandse kust met zandverliezen van zo'n 0,3 - 0,5 Mm³ per jaar kampt. Volgens de analyse van ontwerpaspecten van de Delflandse strandhoofden blijkt ook dat deze strandhoofden voor een groot deel niet meer aan de huidige ontwerpeisen voor strandhoofden (lengte/afstand verhouding en hoogte) voldoen.

Toekomstige ontwikkelingen

Na de uitvoering van de kustversterking zal de kustlijn zeewaarts verschuiven. De afstand is afhankelijk van het gekozen alternatief en de concrete uitwerking ervan. Hieronder wordt per alternatief een globale beschouwing van de consequenties van dat alternatief voor de strandhoofden gegeven.

Effect alternatieven

Duincompensatie PMR

De duincompensatie wordt uitgevoerd grofweg tussen RSP 114.0 en 117.5. De strandhoofden liggen noordwaarts van RSP 115.0 zodat de duincompensatie invloed zal hebben op 7 strandhoofden tussen RSP 114 en 115. De kustlijn zal met maximaal 180 meter zeewaarts verschuiven zodat al deze strandhoofden onder zand zullen verdwijnen en hun effectiviteit volledig verliezen. Meer naar het noorden gaat de duincompensatie over in de kustversterking vanwege de veiligheidsopgave. Doordat de kustlijn wordt gestrekt zal de nu aanwezige "knik" verdwijnen waardoor de onderhoudsbehoefte van dit stuk kust zal afnemen (de gradiënt in het langtransport neemt immers af). In memo Alkyon (2004), opgenomen als bijlage 1 in het Programma van Eisen voor natuurcompensatie aanwinning Maasvlakte-2 (PMR-U, 2004), wordt beredeneerd dat de onderhoudsbehoefte van de Delflandse kust hierdoor met ca. 50.000 m³/jaar zal afnemen. De strandhoofden in deze zone hebben nu toch nauwelijks een erosiebeschermende functie (ze liggen in de depositiezone), zodat het gedeeltelijk afdekken ervan geen nadelige invloed zal hebben (dwz. niet tot toename van erosie zal leiden).

Zeewaarts verbreden

De kustlijn verschuift in dit alternatief zeewaarts over praktisch de hele Delflandse kust. De mate van deze verschuiving varieert afhankelijk van de locatie omdat gestreefd is naar een optimale kustboog waardoor erosie geminimaliseerd wordt. De forse zeewaartse kustlijnverschuiving in de PMR duincompensatie zone wordt vloeiend voortgezet tot Ter Heijde waardoor de "knik" in de kustlijn wordt weggehaald. Hierdoor verdwijnen 8 strandhoofden volledig onder het zand. Door de verlegging van de kustlijn tussen Solleveld (km 111) en de havendam van Scheveningen verdwijnen ook de strandhoofden op dat traject grotendeels onder het zand. Alleen de strandhoofden tussen km 104,6 en 103 blijven deels onafgedekt.

Deze verandering betekent dat praktisch alle hoofden hun functie zullen verliezen en geen bijdrage meer (voor zover nu nog aanwezig) aan de bescherming tegen erosie zullen leveren.

Verhoogde duinen

Bij dit alternatief worden de strandhoofden alleen ter plaatse van het duincompensatiegebied afgedekt. Door de strandverbreding die wordt uitgevoerd, ter bevordering van natuurlijke duinaangroei, wordt langs de rest van de kust ook een deel van de strandhoofden verder afgedekt. De invloed van het afdekken is bij dit alternatief dus het kleinst.

Royaal zeewaarts verbreden

In dit alternatief wordt uitgegaan van een zeewaartse kustlijn verschuiving van 100 meter tot 300 meter. Hierdoor worden alle praktisch alle strandhoofden afgedekt.

Invloed klimaatverandering

Door de klimaatverandering stijgt de zeespiegel. Hierdoor komen de koppen van de strandhoofden steeds dieper te liggen waardoor hun effectiviteit langzaam af zal nemen.

Invloed op onderhoudsbehoefte

In het voorgaande is aangetoond dat de strandhoofden in de huidige situatie niet aan de huidige inzichten omtrent ontwerpisen voldoen, en daarmee geen afdoende middel zijn ter bescherming tegen kusterosie. De hoofden zullen echter wel enige positieve invloed hebben op stabiliteit van de kust. Het verdwijnen daarvan kan dus tot toename van het benodigde kustonderhoud leiden. De mogelijke negatieve effecten van het afdekken van de strandhoofden op de Delflandse kust hebben betrekking op het traject tussen Scheveningen en het begin van de duincompensatiegebied. De effecten van het (deels) afdekken van strandhoofden voor het kustonderhoud zijn moeilijk te kwantificeren. In memo "De functie van strandhoofden langs de Noord-Hollandse kust" (Uitwaterende Sluizen, 2001) is voor de Noord-Hollandse strandhoofden aangenomen dat bij het verwijderen daarvan het kustonderhoud met 50 tot 100% zal toenemen. Voor de Delflandse kust zou dit een toename van kustonderhoud (geschat op $0,2 \text{ Mm}^3/\text{jaar}$ voor het beïnvloede traject) met $0,1$ tot $0,2 \text{ Mm}^3/\text{jaar}$ betekenen. Aan de andere kant, in alle alternatieven wordt de kustlijn geoptimaliseerd zodat er in totaal minder erosie op gaat treden. Bovendien wordt initieel de kust overgesuppleerd zodat een herverdeling van zand binnen het kustvak tussen de dammen van Hoek van Holland en Scheveningen zal optreden en op den duur een nieuw evenwicht gaat ontstaan. Het afdekken van strandhoofden kan dan nog steeds lokaal tot (toename van) erosie leiden, deze lokale erosie hoeft echter niet noodzakelijk tot de reactie in de vorm van onderhoudssuppletie te leiden tenzij er sprake is van BKL-overschrijding. Op langere termijn zal dit mogelijk nadelige effect wegvallen tegen het effect van de zeespiegelstijging (m.a.w. op lange termijn is er geen verschil tussen het wel of niet afdekken van de strandhoofden). Het effect is onzeker, daarom wordt voorgesteld om er alleen in de onzekerheidsmarge rekening mee te houden. De bovengrens van $0,2 \text{ Mm}^3/\text{jaar}$ dient hier als een absoluut fysisch maximum te worden beschouwd. De optredende erosie kan namelijk niet groter zijn dan het zandtransport dat voor dit kustvak eveneens ca. $0,2 \text{ Mm}^3/\text{jaar}$ bedraagt.

Conclusie invloed alternatieven

- De mate waarin de strandhoofden worden afgedekt is verschillend per alternatief. Bij het alternatief "royaal zeewaarts verbreden" zal dit effect het grootst zijn, en bij het alternatief "verhoogde duinen" het kleinst. De onzekerheid omtrent de grootte van dit effect is echter dermate groot dat de *alternatieven op dit punt niet onderscheidend zijn*.
- Het effect van het afdekken van strandhoofden kan op korte termijn leiden tot een toename van erosie en daarmee van de onderhoudsbehoefte. Met het onderhoud van de BKL wordt voorkomen dat door de toegenomen erosie de veiligheid in het gedrang komt.
- Op korte termijn heeft het afdekken mogelijk wel nadelige erosie effecten. Het effect daarvan is onzeker en wordt geschat op $0 - 100\%$ toename van de huidige onderhoudsbehoefte op het traject Scheveningen - Ter Heijde (geschat op $0,2 \text{ Mm}^3/\text{jaar}$). Dit komt overeen met een mogelijke toename van $0 - 50\%$ van de erosieverliezen op de Delflandse kust. Het betreft overigens herverdeling van het gesuppleerde zand binnen het kustvak, waarbij lokaal meer erosie dan nu op kan treden. Omdat de grootte van het effect onzeker is, en de erosie niet noodzakelijk tot onderhoudssuppleties hoeft te leiden, wordt met dit effect alleen in de onzekerheidsmarge rekening gehouden.
- Op den duur (orde 50 jaar) zal als gevolg van de zeespiegelstijging de functie van strandhoofden wegvallen (autonome ontwikkeling) zodat het afdekken daarvan geen vergroting van de onderhoudsbehoefte op lange termijn t.o.v. de autonome ontwikkeling zal betekenen.

- De mate waarin de strandhoofden worden afgedekt is verschillend per alternatief. Bij het alternatief "royaal zeewaarts" zal dit effect het grootst zijn, en bij het alternatief "verhoogde duinen" het kleinst. De onzekerheid omtrent de grootte van dit effect is echter dermate groot dat de alternatieven op dit punt niet onderscheidend zijn.

3.5.5 Onderhoudsbehoefte alternatieven

De uitgevoerde morfologische analyses geven aanleiding tot de volgende conclusies met betrekking tot de onderhoudsbehoefte voor de verschillende alternatieven:

- Doordat de kust wordt gestrekt bij de aanleg van de alternatieven en de knik bij Ter Heijde wordt weggehaald hebben de alternatieven een klein positief effect op de kusterosie t.g.v. gradiënten in het langstransport; de verschillen daarin zijn echter klein en de alternatieven zijn daarin niet onderscheidend.
- De versteiling van de vooroever als gevolg van suppletie resulteert mogelijk in een toename van onderhoudsbehoefte (volgens berekeningen met UNIBEST-TC is deze toename verwaarloosbaar klein, berekeningen met PONTOS door Alkyon laten een toename zien met ca. 10%). Uit analyses van Alkyon en WL Delft blijkt de versteiling van de vooroever te resulteren in een initiële toename van 25% tot weer vergelijkbaar met huidige situatie na verloop van tijd (ca 20 jaar).
- Het dwarstransportproces resulteert volgens het model UNIBEST TC in het verplaatsen van zandvolumes van de suppletielocatie naar de ondiepe zone waar het zand bij zal dragen aan de benodigde kustversterking. De tijdschaal van dit proces is onzeker (4-8 jaar).
- Het effect van het afdekken van strandhoofden kan leiden tot een toename van erosie en daarmee van de onderhoudsbehoefte. Het effect daarvan is onzeker en wordt geschat op 0 - 50% toename van de huidige onderhoudsbehoefte (nu). Op lange termijn valt dit effect weg tegen het effect van zeespiegelstijging. Omdat de grootte van het effect onzeker is, en de erosie niet noodzakelijk tot onderhoudssuppleties hoeft te leiden, wordt met dit effect alleen in de onzekerheidsmarge rekening gehouden.
- De mate waarin de strandhoofden worden afgedekt is verschillend per alternatief. Bij het alternatief "royaal zeewaarts verbreden" zal dit effect het grootst zijn, en bij het alternatief "verhoogde duinen" het kleinst. De onzekerheid omtrent de grootte van dit effect is echter dermate groot dat de alternatieven op dit punt niet onderscheidend zijn.
- Voor de toekomst (tijdshorizon 50 jaar) wordt uitgegaan van een toename van de onderhoudsinspanning met 200%.

3.6 Invloed alternatieven op toegangsgeul Scheveningen

De haven van Scheveningen heeft twee lange havendammen. De zuidelijke dam met een lengte van zo'n 500 m loopt door tot de NAP -6m contour en sluit dus het grootste deel van de actieve zone af. Het zand dat door het langstransport naar het noorden wordt gevoerd wordt deels door deze dam tegengehouden, wat in een aanzanding tegen de zuidelijke havendam resulteert, en deels om de havendam heen. De transportcapaciteit in de toegangsgeul is kleiner dan daarbuiten (de snelheid van de getijstroom dwars op de geul is vanwege grotere diepte in de geul kleiner dan buiten de geul), waardoor bezinking van het sediment optreedt.

De alternatieven hebben nauwelijks invloed op het langstransport bij Scheveningen. Bij alle alternatieven wordt een strandverbreding uitgevoerd, waarbij het profiel zeewaarts verschuift. De actieve zone zal mee verschuiven waardoor meer zand over de geul zal worden getransporteerd. Het verwachte effect daarvan is per alternatief verschillend:

- Bij de alternatieven Verhoogde duinen en Zeewaarts verbreden verschuift het profiel niet zeewaarts ter hoogte van de havendam. In deze alternatieven wordt daarom geen toename van de aanzanding in de geul verwacht.
- Bij het alternatief Royaal Zeewaarts verschuift het profiel met zo'n 300 meter; dit is 60% van de havendamlengte. Dit kan tot significante toename van aanzanding in de toegangsgeul leiden.

De bovenstaande redenering geldt voor een evenwichtssituatie die straks ontstaat. Tijdens de uitvoering zal vanwege zandwinning en suppletie aanzienlijk meer sediment in de actieve zone aanwezig zijn. Hierdoor kan tijdelijk een toename van langstransport optreden. In deze periode zal dan ook meer zand in de toegangsgeul van Scheveningen worden afgezet.

3.7 Ontwerpaspect: Factoren van invloed op duinaangroei

3.7.1 Zand voor suppleties

Verschillende eigenschappen van het zand zijn van invloed op de transportmogelijkheid van het zand en daardoor de verwachte duinaangroei en veiligheid na aanleg van de kustversterking. In de volgende paragraaf wordt aan de hand van literatuuronderzoek beschreven welke eigenschappen van het zand van invloed zijn op de transportmogelijkheid van het zand. Hieruit volgen wensen en eisen voor het te gebruiken suppletiezand bij de aanleg van de duinversterking, strandverbreding en de aanleg van het duincompensatiegebied.

Onderzoek is vervolgens gedaan naar het te winnen zand op de Noordzee en de locatie waar het te winnen suppletiezand zo veel mogelijk overeen komt met de gestelde wensen en eisen met betrekking tot het zand.

Eigenschappen zand

Korrel diameter zand

Specifiek voor het duinontwerp van de kustversterking en de duincompensatie is hieronder mede op basis van een memo van Arens (2006) antwoord gegeven op een aantal vragen met betrekking tot de korrelgrootte karakteristieken en verstufbaarheid ten behoeve van het duinontwerp. Een aantal vragen waren geformuleerd over de wensen en eisen met betrekking tot de te gebruiken korrel diameter gelijktijdig met de zoektocht naar het meest geschikte suppletiezand in de Noordzeebodem.

Wat is de maximaal toelaatbare korrel diameter (D50) voor suppleties voor het nieuwe duin, op het strand en de vooroevers langs de Delflandse kust?

Beschreven wordt in het memo dat voor de suppletie op de onderwateroevers en het strand grover zand kan worden gebruikt dan voor zand dat direct in het duin wordt aangelegd. Aangegeven is

dat de D50 van het zand niet zoveel zegt, maar de spreiding van het zand meer van belang is. Een paar procenten aan grof zand of schelpen heeft namelijk een grote invloed op de uiteindelijke verstuiwing (zie 'grove en fijne delen').

Gesteld wordt dat de meest veilige keuze voor het te gebruiken zand is om de korrelgrootteverdeling aan te houden die ook in natuurlijke duinen in Nederland voorkomt; tussen de 125 en 500 μm met meer dan circa 75% in de fractie 150-250 μm .

De maximaal toelaatbare korrelgrootte voor de zeereep wordt verondersteld op circa 250 - 300 μm aangezien dit nog voldoende verstuiikbaar zou moeten zijn (Arens, 2006)

Wat zijn de effecten voor de morfologische en natuurlijke/ ecologische processen als het suppletiezand afwijkt qua korreldiameter (D50) afwijkt van het bestaande zand?

De gevolgen van het gebruiken van te grof zand zijn:

- Vorming van woestijnvloertje;
- Blokkeren van verstuiwingsproces;
- Beperkte overstuiwing van de zeereep;
- Beperkte doorstuiwing landwaarts;
- Beperkte natuurlijke vormgeving;
- Minder vitale helm door gebrek aan vers zand;
- Duin blijft kunstmatig.

Het gebruik van grover zand op strand is niet problematisch als het oppervlak regelmatig met golven wordt overspoeld (Arens, 2006).

Een belangrijk uitgangspunt is het natuurlijk aangroeien van de duinen door verstuiwing. Is er een directe relatie tussen de korreldiameter en de verstuiwing? Tot welke korreldiameter kun je spreken van 'goede omstandigheden voor natuurlijk aangroeien'.

Vrijwel al het duinzand heeft een korreldiameter tussen circa 150 - 300 μm . Als het strand en onderwateroeverzand gemiddeld grover is, dan gaat het er vooral om dat er voldoende fijner zand aanwezig is voor verstuiwing. De sortering moet dan dus juist slecht zijn (maar dan richting de fijne staart). Fijner zand kan dan van het strand geblazen worden en door de golfwerking weer worden aangevuld. Hoe grover het zand hoe moeilijker het stuift, waardoor de duinaangroei langzamer zal gaan. Een voorzichtige globale schatting geeft aan dat de aangroei bij een korrelgrootte van 300 μm tweemaal zo langzaam gaat dan bij een korrelgrootte van 180 μm .

Heeft het zin om grof zand met fijn zand 'te mengen' om zo een meer geschikte D50 te verkrijgen, of is de range van de korreldiameter ook een beperkende factor?

Het heeft zeker zin om grof zand met fijn zand te mengen. Echter het is zinvoller om de beste kwaliteit zand (de meest gesorteerde en de fijnste) te gebruiken voor de afdekkende laag van het duin. Als voorbeeld zou het duin opgebouwd kunnen worden uit minder geschikt zand dat vervolgens afgedekt kan worden met een laag van 1 á 2 meter zand dat beter verstuiikbaar is. Daarnaast moet dan de dikte en de vorm van de afdeklaag slim ontworpen worden. Het bijmengen van grof zand kan slechts zeer beperkt gebeuren.

Welke afwijking van de bestaande korreldiameter is nog reëel als we de beleving van het strand voor de strandrecreatie gelijkwaardig willen houden?

De inschatting is dat strand met een korrelgrootte tot ca 500 μm nog min of meer als gewoon strand ervaren wordt. Slib moet zoveel mogelijk worden beperkt.

Is de zandfractie van invloed op de ontwikkeling van Grijze Duinen (prioritair habitattype dat gecompenseerd moet worden in het duincompensatiegebied?)

Grijze duinen vereisen een lichte vorm van overstuiving, bijvoorbeeld door de aanwezigheid van stuifkuilen, of door hun ligging direct achter de zeereep, dus op grotere afstand van het brongebied. Overstuiving treedt dan op wanneer het zand in een soort van suspensieve wolk over de zeereep wordt geblazen. De transportafstand is direct gerelateerd aan de korrelgrootte (Arens et al., 2002). Hoe fijner het zand hoe beter het in suspensie gaat en hoe verder het over de grijze duinen geblazen kan worden. Wanneer zand gebruikt wordt met beperkte mogelijkheden voor verstuiving zal dit direct van invloed zijn op de grijze duinen. De dynamiek zal hier dan waarschijnlijk te laag zijn om de lichte overstuiving te garanderen.

Grove en fijne delen

In het onderzoek van Van der Wal (1999) wordt de invloed bekeken van strandsuppleties op het optredende eolische transport en de morfodynamische veranderingen die optreden. Suppletiezand verschilt van het zand dat van nature op het strand en de vooroever aanwezig is. Suppletiezand bestaat namelijk naast zand vaak uit een mix van grind, silt, schelpen en organisch materiaal. Daarnaast is suppletiezand niet blootgesteld geweest aan de sorterende processen van marien en eolisch transport. Uit monsters die genomen zijn van verschillende stranden waar gesuppleerd is blijkt dat suppletiezand slechter gesorteerd is, een scheve korrelgrootteverdeling heeft en meer silt en meer grove materialen (zoals schelpfracties) bevat.

De samenstelling van het materiaal heeft invloed op de gevoeligheid van het sediment om te mobiliseren. De hoeveelheid eolisch transport dat optreedt hangt af van de sortering van het zand en de schelpfractie aanwezig in het zand; de gemiddelde korrelgrootte van het zand is onvoldoende om als indicator voor dit transport te gebruiken. Bij een slechtere sortering van zand neemt de verstuijbaarheid af (Van der Wal, 1998)

Zand dat goed gesorteerd is, maar wel een fractie aan schelpdelen bevat heeft een lage transportcapaciteit. Aan het oppervlak werd vaak een schelpvloertje gevormd, waardoor in een aantal gevallen het zandtransport uiteindelijk stopte. Zulke schelpvloertjes blijken binnen enkele weken ontstaan (Van der Wal, 1998). Daarnaast blijkt dat het zand dat de duinen in getransporteerd is vanaf een gesuppleerd strand arm is aan silt en schelpen. Dit impliceert een hoge drempelwaarde voor transport voor beide componenten. (Van der Wal, 1999). Een aanzienlijke reductie in zandtransport vindt plaats als de fractie > 2 mm groter is dan 5% en/ of de fractie < 75 μm groter is dan 0.8%. Deze samenhang is niet nader onderzocht. Het blijkt in ieder geval dat zowel te grof als te fijn materiaal de verstuijbaarheid beperken.

3.7.2 Strandbreedte

Inleiding

In principe worden bij de uitvoering van de verschillende alternatieven de duinen zoals aanwezig in het ontwerpprofiel direct aangelegd. De wens bestaat echter dat na de aanleg van het duin door natuurlijke processen verdere duinontwikkeling/ duinvorming optreedt. Ter plaatse van de

PMR duincompensatie is dit zelfs een noodzakelijk om de vereiste natuurcompensatie te kunnen realiseren.

In het rapport van Van der Wal (1999) is de strandbreedte onderzocht in relatie tot het optredende zandtransport. Er is een bepaalde afstand nodig om verstuiving volledig op gang te doen komen, de zogenaamde kritische strijklengte. Op een strand wordt de minimale strijklengte voor aanlandig zandtransport bepaald door de breedte van het strand tussen waterlijn en de duinvoet. De windrichting kan de strijklengte van de wind vergroten. De optredende verstuiving blijkt een verband te hebben met de strijklengte. Omdat de breedte van het strand toeneemt bij het uitvoeren van suppleties geeft dit aan dat een grotere zandflux verwacht kan worden na een strandsuppletie (Van der Wal 1999).

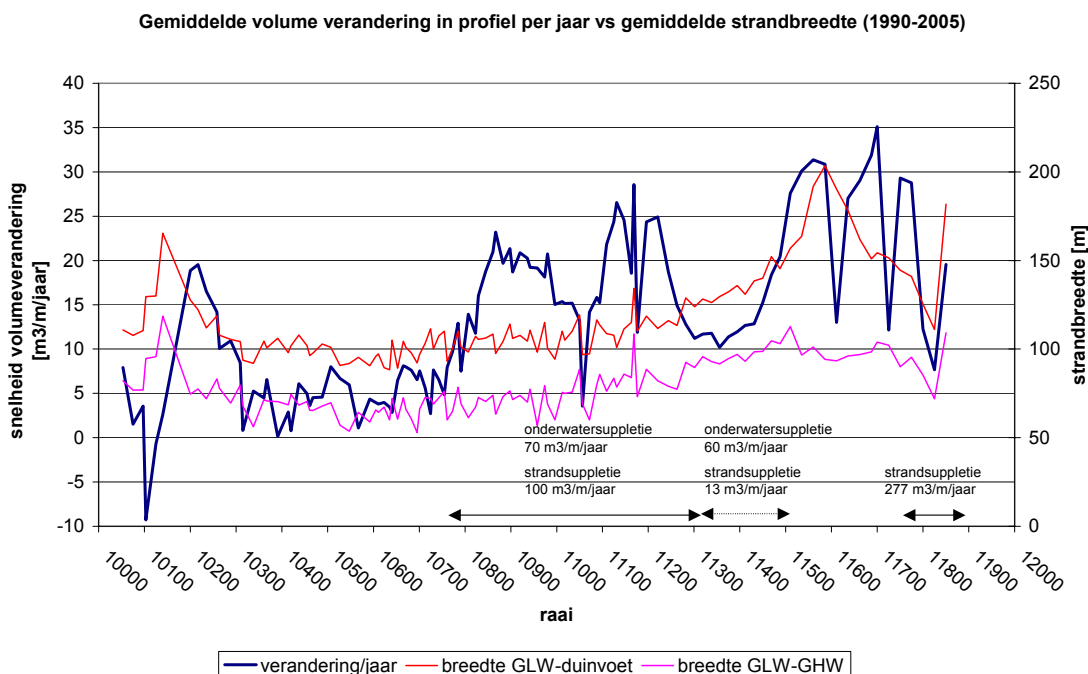
Uit bovenstaande blijkt dat een breder strand resulteert in een groter transport richting het duin. Om enig inzicht te krijgen of in het verleden bij een breder strand, veroorzaakt door de uitgevoerde suppleties, daadwerkelijk duinaangroei plaats heeft gevonden langs de Delflandse kust is een aanvullende analyse uitgevoerd. Bij een verband tussen strandbreedte en duinaangroei is het daarnaast van belang om te weten bij welke breedtes van het strand dan duinaangroei plaatsvindt. Deze paragraaf beschrijft de uitgevoerde analyse van de relatie tussen de duinaangroei en de strandbreedte langs de Delflandse kust.

Methode

Van de Delflandse kust zijn Jarkus raaien beschikbaar van de periode 1965 - 2005. Voor deze raaien is het volume per strekkende meter (langs de kust) bepaald tussen de voet van de duin (gedefinieerd als 3m +NAP niveau) en de duintop. Bij de uitwerking is gebleken dat er grote verschillen in de lengte en ligging van de raaien in de verschillende jaren waren. Om een consistente dataset te vormen zijn voor deze analyse alleen de data in de periode 1990-2005 gebruikt, omdat deze een redelijk constante opnamedichtheid hebben (circa 250 meter, vergeleken met circa 1 km in de voorgaande periode). De ligging van de NAP + 3 meter lijn verandert door de jaren heen. In deze analyse is de lijn (momentopname) in 2005 gebruikt. De integratie is uitgevoerd tussen de vaste punten (ruimtelijk gezien) in een raai, zodat een consistent beeld van volumeverandering is verkregen. De helling van de trendlijn in de volumeverandering geeft een benadering van de snelheid waarmee de duin van volume verandert, met andere woorden de duinaangroei in de tijd.

Voor dezelfde raaien is ook de strandbreedte bepaald. Daarbij is zowel de breedte tussen GHW (NAP +1.4 m) en GLW (NAP -0.7 m) als de breedte tussen GLW en de duinvoet (NAP +3 m) bepaald. Deze breedtes zijn momentopnames en veranderen sterk onder invloed van stormen. Daarom is een gemiddelde waarde van deze breedtes over een periode van 15 jaar (1990-2015) bepaald.

De resultaten van beide analyses zijn uitgezet in Afbeelding 3-7. In dezelfde figuur zijn ook de volumes en locaties van zandsuppleties na 1990 aangegeven. Deze zijn omgerekend naar m³/m/jaar zodat de waarden vergelijkbaar zijn met de aangroei waarden.



Afbeelding 3-7: Volumeveranderingen in duin versus strandbreedte

Uit Afbeelding 3-7 blijkt dat in de gebieden waar veel wordt gesuppleerd een aanzienlijke duinaangroei optreedt waarbij tevens ook de strandbreedte toeneemt. De meeste suppleties die in het verleden langs de Delflandse kust zijn uitgevoerd hebben het karakter van een strandsuppletie. Er zijn echter ook 2 grote onderwatersuppleties uitgevoerd (1997: 1.2 Mm³ tussen RSP 113.2-114.9, Ter Heijde, en 2001: 3.6 Mm³ tussen RSP 107.4 en 112.5 Kijkduin - Ter Heijde). Deze dragen bij aan de natuurlijke duinvorming. Op het traject 113.0 en 117.0 zijn voornamelijk onderwatersuppleties of helemaal geen zandsuppleties uitgevoerd. Hier lijkt een positieve correlatie tussen de toename van volume en de strandbreedte te bestaan. Verder richting Noorderdam wordt het beeld verstoord door de regelmatige strandsuppleties. De grote onregelmatigheden in het verloop van de volumelijn bij Hoek van Holland worden (behalve natuurlijke invloeden) veroorzaakt door de grote stappen waarmee de duinen zijn ingemeten (tot 100m) waardoor de integratieprocedure niet helemaal goed werkt.

Conclusie

Er lijkt een correlatie te zijn tussen de duinaangroei en strandbreedte. Het beeld wordt echter sterk verstoord door de strandsuppleties die veel invloed hebben op de beschouwde parameters zodat de relatie niet helemaal duidelijk is. Op grond van deze analyse is verondersteld dat door het verbreden van het strand de natuurlijke duinontwikkeling wordt gestimuleerd met gemiddeld 10 m³/m per jaar van gemiddeld 5 m³/m per jaar nu naar ongeveer 15 m³/m per jaar na verbreding van het strand.

3.8 Onzekerheden morfologisch onderzoek

3.8.1 Bandbreedtes en onzekerheden

Voorspellingen die voortkomen uit morfologisch onderzoek en analyses zijn onzeker. Om in de afzonderlijke en uiteindelijke ook overkoepelende analyse een uitspraak te kunnen doen over de verwachte morfologische ontwikkelingen worden bandbreedtes gehanteerd. Het hanteren van een bandbreedte is gebruikelijk in morfologische studies en geeft de onzekerheidsmarge in de voorspelling aan.

De volgende aspecten zijn onzekere factoren in de ontwikkeling van de Delflandse kust en enkele resulteren in het hanteren van bandbreedtes:

- Morfodynamisch systeem
- Effect zeespiegelstijging
- Modelvoorspellingen
- Afdekken strandhoofden

Morfodynamisch systeem

De Delflandse kust, gezien als morfodynamische eenheid, wordt begrensd door de Noorderdam bij Hoek van Holland in het zuiden en de zuidelijke havendam van Scheveningen in het Noorden. Over het algemeen is het gehele systeem beschouwd in het ontwerp van de alternatieven (optimale kustlijn voor deze eenheid) en in de uitgevoerde analyses. Op deze wijze zijn de - in deze studie op de grootst mogelijke schaal aanwezige - morfologische processen die zich in het gebied afspelen, meegenomen.

Morfologische ingrepen die in ieder systeem gedaan worden zullen een naijleffect hebben aangezien het systeem zich aan moet passen aan de nieuwe situatie. De uitvoering van de suppleties in het verleden domineren het morfologische gedrag van de kustzone.

Bij aanleg van de alternatieven zal initieel een versteiling van het profiel plaatsvinden. Direct na aanleg van de kustversterking worden de grootste morfologische veranderingen verwacht in het gebied. Daarom zal het onderhoud initieel ook het grootst zijn zoals tevens voorspeld met de modelberekeningen in de analyse van Alkyon en WL Delft Hydraulics (2006). In dit onderzoek komt tevens naar voren dat nadat het systeem zich heeft aangepast aan de nieuwe situatie het onderhoud de referentiesituatie weer benaderd.

Effect zeespiegelstijging

Voor de zeespiegelstijging die gedurende de planperiode op zal treden is uitgegaan van het middenscenario, waarbij 60 cm zeespiegelstijging per eeuw wordt verwacht (30 cm voor de planperiode). Hoe groot de exacte stijging van de zeespiegel zal zijn is onzeker. Door de optredende zeespiegelstijging zal de zandvraag van de gehele kust toenemen (RIKZ, 2000). Voor het voorspelde effect van de stijging van de zeespiegel (stijging 30 cm resulteert in toename onderhoudsbehoefte met 200%) wordt aangenomen dat de nauwkeurigheid daarvan ordegrrootte 100% bedraagt.

Modelvoorspellingen

In voorgaand morfologisch onderzoek is gebruik gemaakt van de modellen UNIBEST CL+ en UNIBEST TC. De onzekerheidsmarge die op de resultaten van de morfologische modelberekeningen met het UNIBEST CL+ model toegepast dient te worden, wordt geschat op +/- 100%.

Van de resultaten verkregen met de modelberekeningen met UNIBEST TC model is bekend dat de profielveranderingen die worden voorspeld in het ondiepe deel van het profiel erg onzeker zijn en daarom niet meegenomen moeten worden in de voorspellingen. Daarnaast dient er ook een bepaalde onzekerheidsmarge gehanteerd te worden bij het interpreteren van de overige resultaten.

Voor de overige uitgevoerde onderzoeken is geen gebruik gemaakt van modellen, maar van uitgevoerde metingen uit de periode 1965-2005. De voorspellingen die uit deze analyses volgen zijn dus gebaseerd op werkelijk opgetreden morfologische ontwikkelingen. Overigens betekent dat niet dat met het extrapoleren van data uit het verleden naar de toekomst geen onzekerheden gepaard zijn.

Dynamiek zandbanken

Bij een vooroeversuppletie wordt de natuurlijke dynamiek van de zandbanken die voor de kust liggen verstoord. Dit blijkt onder andere uit de evaluatie van onderwatersuppleties Noord- en Zuid-Holland door Witteveen & Bos en Koster Engineering (2006). Er is te weinig kennis beschikbaar om de gevolgen daarvan in te schatten.

Afdekken strandhoofden

Strandhoofden voor de Delflandse kust zijn al sinds 1791 aanwezig om de kusterosie te verminderen. Daarnaast worden - voor zover bekend - sinds de jaren 70 suppleties uitgevoerd voor de handhaving van de kustlijn.

Aangezien pas sinds 1965 structureel metingen van het kustprofiel plaatsvinden waarbij ook nog veelvuldig suppleties worden uitgevoerd, is de werking van de strandhoofden moeilijk te bepalen; er is immers geen referentiesituatie bekend zonder strandhoofden. Het is moeilijk om in te schatten wat het effect is van het afdekken van de strandhoofden aangezien de huidige werking van de strandhoofden niet goed bekend is. In het uitgevoerde onderzoek is gesteld om met het effect van het afdekken van de strandhoofden niet kwantitatief rekening te houden, maar om voor de onderhoudsbehoefte een onzekerheidsmarge te hanteren van 50%.

3.8.2 Conclusie m.b.t. onzekerheden in bepaling onderhoudsbehoefte

De resultaten van de verschillende morfologische onderzoeken, ieder met zijn eigen bandbreedte, zijn gecombineerd om de onderhoudsbehoefte van de Delflandse kust in de toekomst te voorspellen voor de referentiesituatie en voor de verschillende alternatieven. Rekening houdend met de bovengenoemde onzekerheden wordt bij de effectbepaling uitgegaan van een toename van de onderhoudsinspanning met 10% t.o.v. de autonome ontwikkeling (effect versteiling vooroever) met een onzekerheidsmarge daaromheen van 50% als gevolg van het afdekken van de strandhoofden. Voor de voorspelde effecten van zeespiegelstijging (autonome ontwikkeling) wordt daarnaast nog eens een onzekerheidsmarge orde 100% aangehouden.

4 UITWERKING ALTERNATIEVEN MER

4.1 Inleiding

In dit hoofdstuk worden de verschillende alternatieven zoals beschreven in het MER uiteengezet. Ook komt het ontwerp van de PMR duincompensatie aan bod. De ontwerpen van de verschillende alternatieven zijn gemaakt aan de hand van de uitgevoerde veiligheidsberekeningen en de morfologische studie. In dit hoofdstuk komt kort aan bod op welke wijze de vertaalslag van de veiligheidsopgave naar het ontwerp heeft plaatsgevonden. Hoewel in deze fase de exacte uitvoering voor de kustversterking nog niet vastgelegd hoeft te worden is inzicht in de consequenties van de uitvoering wel gewenst. In dit hoofdstuk worden aannames gedaan t.a.v. de uitvoering mede ter onderbouwing van de kostenraming en het inschatten van de hoeveelheden te winnen zand.

4.2 Uitgangspunten bij ontwerp

Bepalend voor het ontwerp is het midden klimaatscenario met verzwaarde randvoorwaarden, waarbij wordt uitgegaan van een autonome zeebodempstijging die gelijke tred houdt met de stijging van de zeespiegel. Voor de zachte ontwerpen (oplossingen bestaande uit zand) wordt geanticipeerd op ontwikkelingen in de komende 50 jaar. Voor de harde elementen wordt uitgegaan van de hoogste eisen voor de komende 100 jaar.

In het project wordt uitgegaan van het aanvullen van de profielen tot NAP -5 m. Het actieve profiel loopt door tot ca. NAP -8m contour. Er zal herverdeling van het gesuppleerde zand plaatsvinden, waarbij een deel daarvan naar het dieper water zal verdwijnen.

Een van de uitgangspunten voor de kustversterking is dat er een onderhoudsvrije periode van circa 5 jaar gehanteerd kan worden. Om niet direct na aanleg van de kustversterking te hoeven beginnen met dit onderhoud wordt er bij de aanleg van de kustversterking direct de onderhoudsbehoefte van de eerste 5 jaar aangebracht. Dit zand wordt aangebracht in de zone tussen de -5 en de -8 m NAP (zie paragraaf 4.4).

4.3 Van veiligheid naar ontwerp

De benodigde kustversterkingen zijn in eerste instantie bepaald ten opzichte van de situatie behorende bij BKL. (keuze van JARKUS profiel volgens MKL=BKL). De daadwerkelijk aan te brengen m³ zand worden bepaald ten opzichte van de huidige situatie (referentiejaar 2005). Sedert 1990 is veel zand gesuppleerd tussen Hoek van Holland en Scheveningen. De opgave ten opzichte van de huidige situatie is daardoor kleiner dan ten opzichte van de MKL=BKL situatie. De hoeveelheid benodigd zand voor de diverse alternatieven, is bepaald ten opzichte van de huidige situatie (referentiejaar 2005).

Bij het bepalen van de benodigde hoeveelheden voor de versterking wordt uitgegaan van het handhaven van het huidige profiel (jarkusprofiel 2005) tot -5 m NAP. Als de laagwaterlijn zeewaarts verschuift dan schuift het profiel tot aan de NAP -5 m mee.

Ten aanzien van de met de zeespiegel meestijgende zeebodem (30 cm in 50 jaar) was voorzien dat de benodigde hoeveelheid zand voor deze bodemstijging middels regulier onderhoud aangebracht zou worden en dus buiten de kustversterking zou vallen. Doordat echter uitgegaan wordt van de huidige situatie (2005), waarbij de ligging van de bodem op veel plekken afwijkt van de BKL ligging, is deze hoeveelheid niet separaat te bepalen. Doordat op veel locaties de bodem (tot de -5 m NAP contour) door suppleties al aanzienlijk meer gestegen is ten opzichte van de BKL dan de benodigde stijging voor 50 jaar wordt al het benodigde zand toegeschreven aan de kustversterking. Feitelijk heeft middels regulier onderhoud deze bodemstijging al plaats gevonden, door deze werkwijze wordt dan ook geen extra inspanning via de kustversterking gevraagd.

4.4 Van ontwerp naar aanleg

Inleiding

Het ontwerpprofiel dat benodigd is als kustversterking van de verschillende alternatieven en de duincompensatie is lastig om daadwerkelijk aan te leggen volgens het uitgangspunt van het verschuiven van het bestaande profiel. De reden hiervoor is dat met de gebruikte aanlegmethode (strand- en of onderwatersuppleties) niet het gehele profiel kan worden bereikt. Een aanvullende methode waarmee wel het gehele profiel kan worden bereikt (rainbow suppletie) is een relatief dure optie en heeft ongunstige milieu effecten. Hieronder worden de aanlegmethoden besproken en komt aan bod hoe van een aanlegprofiel het ontwerpprofiel kan worden verkregen.

Aanlegmethoden suppleties

Rijkswaterstaat stelt als uitgangspunt bij de keuze tussen de verschillende suppletiemethoden: "onder water waar het kan, op het strand waar het moet."

De tendens is dat sinds kort voor BKL handhaving vrijwel alle suppleties via onderwatersuppleties worden uitgevoerd. Voorheen waren dit strandsuppleties.

Strandsuppleties

Een strandsuppletie bestaat uit het aanbrengen van een extra laag zand op het strand. Het dringt de waterlijn zeewaarts en maakt het strand hoog en breed. Na verloop van tijd verspreid het zand door wind en water over het strand en vlak voor de kust.

Tijdens een strandsuppletie perst de sleephopperzuiger het zand met water door een leiding naar de kust. Bulldozers zorgen er vervolgens voor dat het zand op de juiste plaats komt.

In het zand zit veel water en veroorzaakt drijfzand. Daarom is het strand ter plekke van een suppletie tijdelijk niet toegankelijk. Om de overlast voor badgasten en strandpaviljoens te beperken vinden strandsuppleties vooral buiten het recreatiehoogseizoen plaats.

Doorgaans wordt bij strandsuppleties een gebiedsafhankelijke toeslag in de aan te leggen m³ zand van ca. 10-20% gehanteerd i.v.m. snelle zandverliezen in de eerste fase na suppletie. Bij het bepalen van de hoeveelheden voor de raming van de kustversterking wordt een toeslag van 20% gehanteerd.

Onderwatersuppleties

Een onderwatersuppletie bestaat uit het aanbrengen van een kunstmatige zandbank voor de kust. De zandbank heeft twee functies: het breekt de golven en door de stroming beweegt zand van de zandbank langzaam naar de kust.

Bij voldoende diepte varen sleepopperzuigers naar de gekozen locatie waar ze vervolgens het zand onder water storten. De onderwatersuppleties worden over het algemeen zo hoog mogelijk in het profiel aangebracht. De beperkende factor is echter de diepgang van de baggerschepen, waardoor over het algemeen het zand tussen NAP -5m en NAP -8m wordt aangelegd.

Het duurt enige tijd voordat een onderwatersuppletie effect heeft op de ligging van de kustlijn. Het grootste deel van de aan te brengen zandhoeveelheid komt namelijk zeewaarts van de BKL rekenschijf te liggen. Verschillende processen moeten er voor zorgen dat het zand ten goede komt aan de BKL zone. Dit zijn met name het dwarstransportproces en in beperkte mate zandvangst uit het langstransportproces in de brandingszone doordat de golven eerder breken op de onderwatersuppletie.

Bij een acuut veiligheidsprobleem worden onderwatersuppleties niet ingezet. Het duurt dan te lang voordat een deel van het aangebrachte zand zover landinwaarts getransporteerd dat de duinsterkte toeneemt.

Evaluaties van een recente onderwatersuppletie bij Ter Heijde [RIKZ, 2002] geven de volgende aanknopingspunten voor het inschatten van de werking van onderwatersuppleties voor de Delflandse kust:

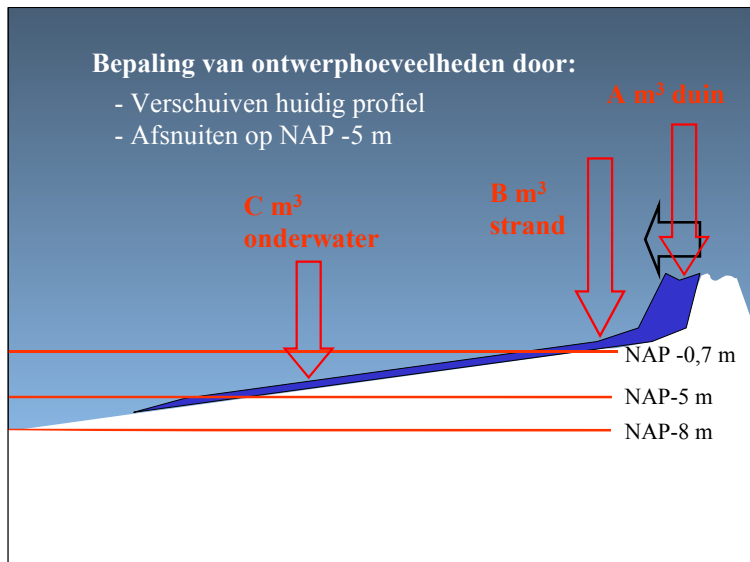
- Uit evaluatie blijkt dat er nauwelijks zand naar dieper water is verdwenen (dieper dan NAP -10 m), vrijwel al het zand is nog terug te vinden in het bovenste deel van de actieve zone (die loopt tot NAP -20).
- De gemiddelde strandbreedte blijft na de onderwatersuppletie in eerste instantie redelijk stabiel, maar lijkt over de hele periode na de aanleg toe te nemen.
- De duinvoetpositie verplaatst zich na de aanleg van de onderwatersuppletie duidelijk zeewaarts, met een grotere snelheid dan in het verleden.
- Al direct na aanleg van de onderwatersuppletie traden grote veranderingen op. Zowel de waterlijn als de duinvoet verplaatsen zich zeewaarts.

Rainbow suppleties

Een andere mogelijkheid met betrekking tot het suppleren van zand is met behulp van de 'rainbow' methode. Hierbij wordt door een schip zand gemengd met water met een boog door de lucht op de aangewezen plek gespoten. Met deze methode is het mogelijk om tussen de NAP -5 meter lijn en de laagwaterlijn zand aan te brengen. Deze zone kan niet worden bereikt door de bovenstaande beschreven strandsuppletie en onderwatersuppletie. Een groot nadeel van deze 'rainbow' methode is echter dat er zoute spuitnevel in de duinen terecht kan komen [Roelse, 2002]. Daarom wordt deze methode bijna niet meer toegepast.

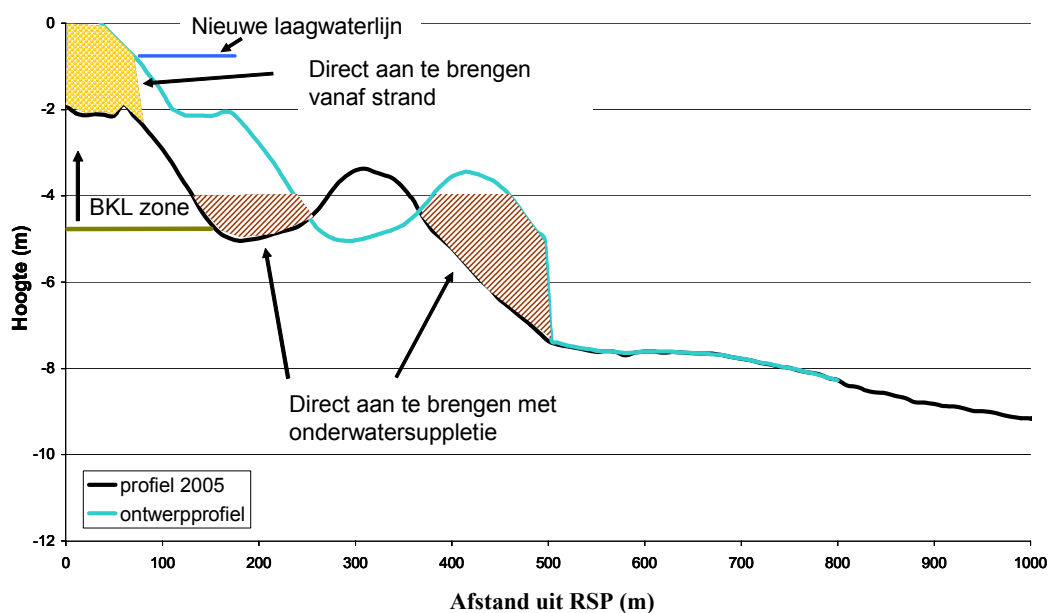
Ontwerpprofiel versus aanlegprofiel

In eerste instantie zijn de benodigde hoeveelheden voor de kustversterking en de duincompensatie bepaald op basis van de ontwerpprofielen. Bij deze profielen wordt uitgegaan van een zeewaartse verschuiving van het onderwaterprofiel. (zie figuur 4-1).

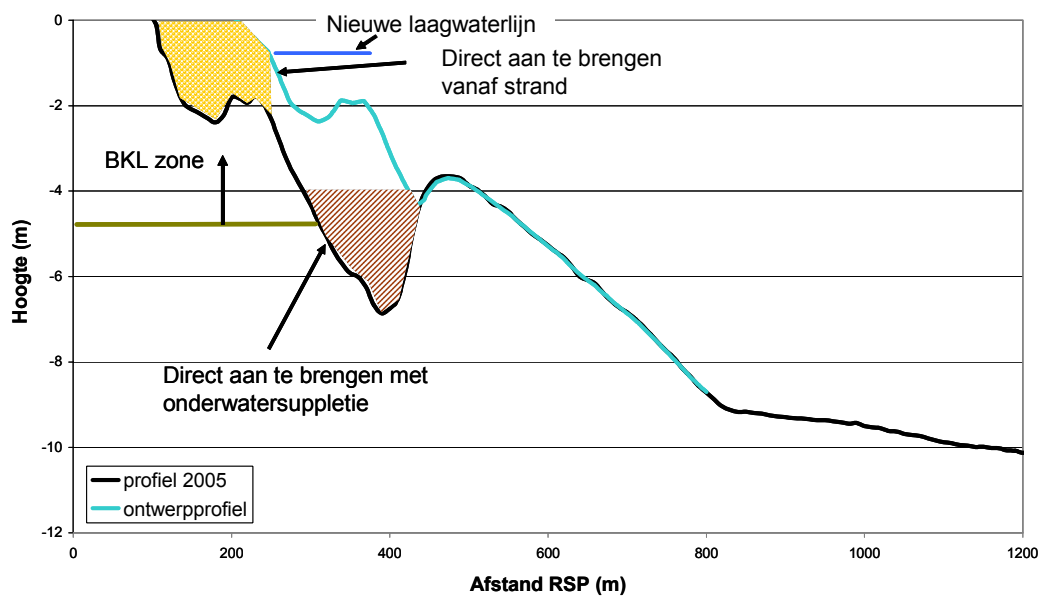


Afbeelding 4-1: Het ontwerpprofiel

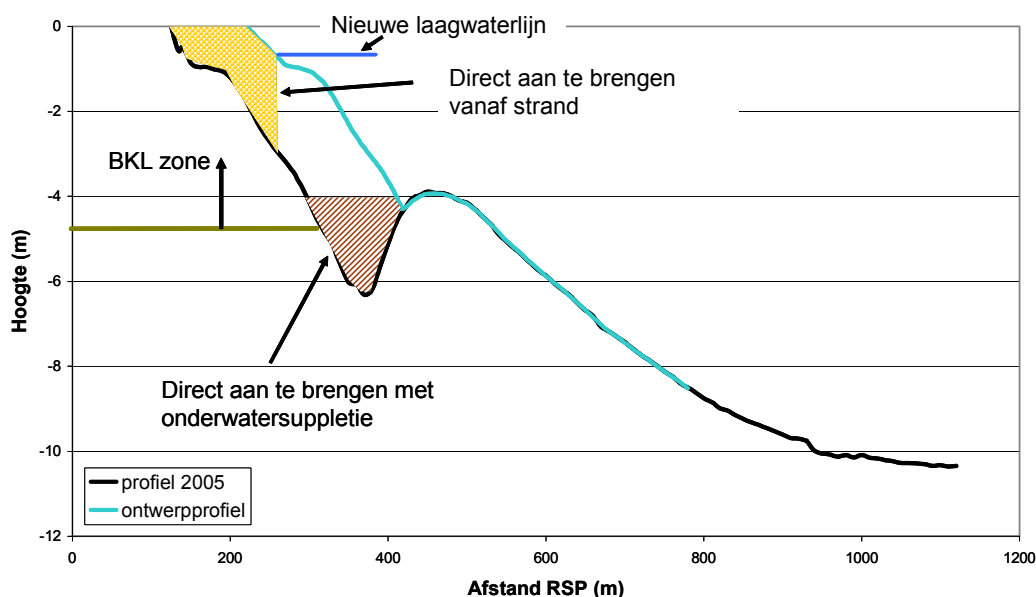
Het is met het gebruikelijke materieel niet goed mogelijk (of zeer duur) om over het gehele onderwaterprofiel een laag zand aan te brengen conform het ontwerpprofiel. Tussen de NAP -5 meter en de laagwaterlijn kan maar moeilijk zand worden gesuppleerd. Uit evaluatie van recente onderwatersuppleties is bekend dat ca 20 tot 30 % van het aangebrachte zand uiteindelijk de BKL zone bereikt. Bij het inschatten van de effectiviteit van onderwatersuppleties voor het realiseren van de kustversterking dient bedacht te worden dat de BKL zone slechts tot -4,40 m NAP loopt. Voor het ontwerpprofiel van de kustversterking is de zone waar het zand terecht moet komen ruimer. Om inzicht te verschaffen in de mogelijke methoden van aanleg wordt voor een aantal representatieve raaien een verdere uitwerking gegeven. De volgende raaien behorende bij het alternatief zeewaarts verbreden zijn mede gekozen doordat er relatief grote hoeveelheden zand in de zone tussen de laagwaterlijn en -5 m NAP aangebracht moet worden. Er wordt hierbij vanuit gegaan dat tot aan -5 m NAP gesuppleerd kan worden. Met kleinere baggerschepen en door gebruik te maken van rainbowen kan eventueel gesuppleerd worden tot aan -4 m NAP (in de indicatieve voorbeelden in de figuren 4-2 tot en met 4-5 is hoogte van -4 m NAP aangehouden).



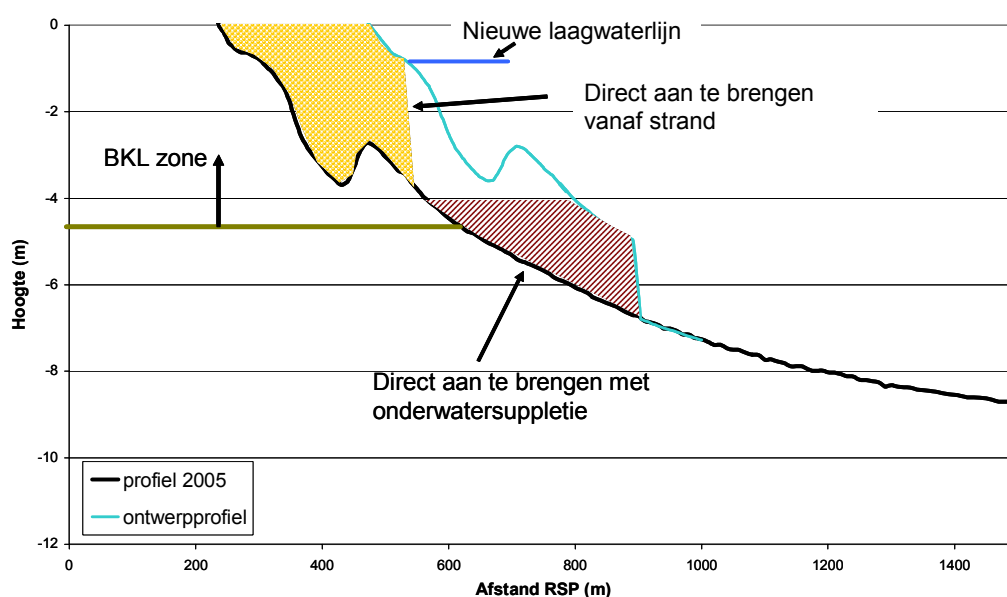
Afbeelding 4-2: ontwerpprofiel bij raai 103.38 (hoogte m +NAP)



Afbeelding 4-3: ontwerpprofiel bij raai 108.07 (hoogte m +NAP)



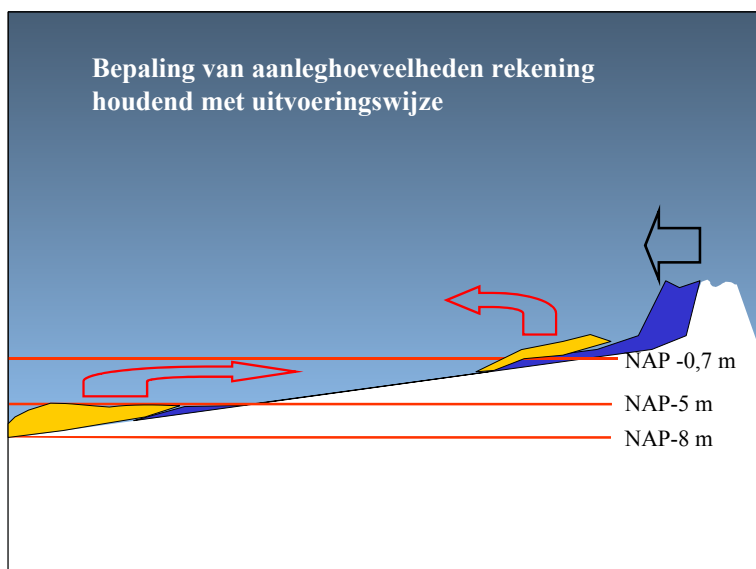
Afbeelding 4-4: ontwerpprofiel bij raai 112.21 (hoogte m +NAP)



Afbeelding 4-5: ontwerpprofiel bij raai 115.60 (hoogte m +NAP)

Uit de afbeeldingen 4-2 tot 4-5 blijkt dat een fors deel van het zand tussen de laagwaterlijn en de -5 m NAP direct vanaf het strand of door middel van onderwatersuppleties aangebracht kan worden. Het resterende deel van het ontwerpprofiel zal pas op termijn op de juiste locatie terecht komen. Voor het ontwerp wordt er van uitgegaan dat het resterende deel van het zand initieel wordt aangelegd op het strand en tussen de NAP -8 en -5 meter lijn (zie Afbeelding 4-6).

Het volgens het ontwerpprofiel resterende benodigde zand tussen de NAP -5 meter en de laagwaterlijn wordt gedeeltelijk aangebracht op het strand (20%) en voor het grootste deel tussen de NAP -8 en -5 meter lijn. Op termijn zal het aangebrachte zand door stroming en golven herverdeeld worden zodat zich een meer evenwichtig profiel zal instellen. Bij strandsuppleties dient daarbij nog een toeslag gehanteerd te worden in verband met snelle zandverliezen in de eerste fase na suppletie (20%). Aangezien een groot deel van dit zand verloren gaat naar zee, kan deze hoeveelheid in mindering gebracht worden op de hoeveelheid aan te leggen zand op de vooroever. Van het zand dat zeewaarts van de NAP -5 meter lijn aangebracht wordt zal lang niet alles tussen de laagwaterlijn en de NAP -5 m lijn terechtkomen. Om toch voldoende zand in het profiel aan te brengen zal ook hier een toeslag noodzakelijk zijn. Zoals blijkt uit de figuren 4-2 tot 4-5 kan een fors deel van het zand effectief aangebracht worden, het resterende deel zal echter minder effectief aangebracht worden. Voor het bepalen van de totale hoeveelheid benodigd zand wordt ervan uitgegaan dat er een toeslag van 100% gehanteerd moet worden voor het zand dat zeewaarts van de laagwaterlijn terecht moet komen. Het grootste deel van het zand dat niet direct ten goede komt aan de kustversterking levert wel een positieve bijdrage aan het mee laten stijgen van het kustfundament met de zeespiegelstijging.



Afbeelding 4-6: Het aanlegprofiel

Zoals blijkt uit de afbeeldingen 4-2 tot 4-5 is het onderwaterprofiel voor de Delflandse kust variabel als gevolg van het wel of niet aanwezig zijn van muien en zandbanken voor de kust. Dit betekent dat van plaats tot plaats een heel wisselende hoeveelheid zand nodig is tussen de laagwaterlijn en de NAP-5 meter lijn. Ook de effectiviteit van onderwatersuppleties is sterk afhankelijk van de ligging van zandbanken en muien.

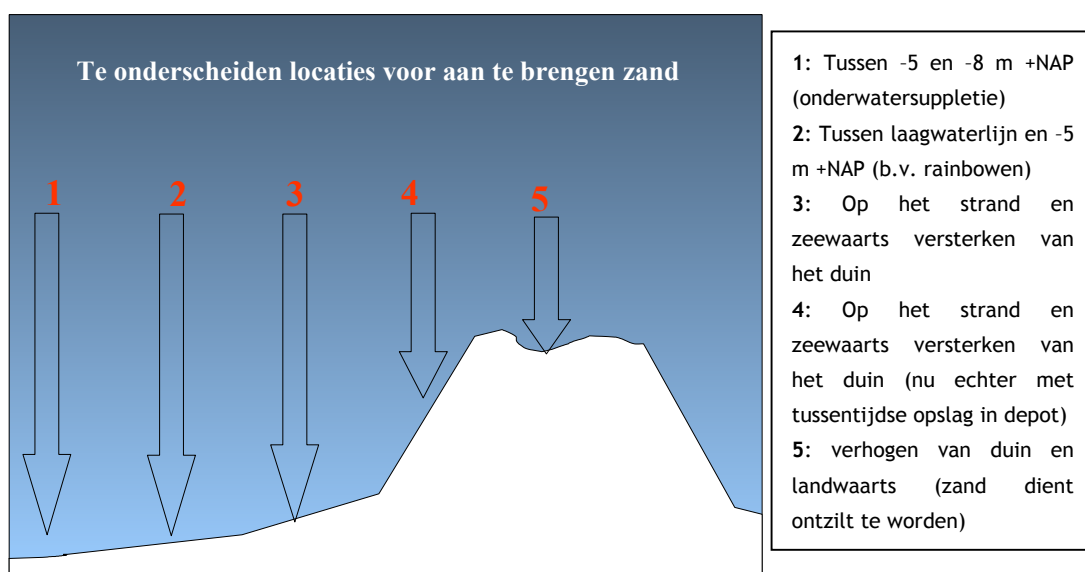
Daarnaast wordt opgemerkt dat de hier beschreven aanlegwijze afhankelijk kan zijn van veranderingen als gevolg van keuzen die door de aannemer gemaakt worden. In hoeverre de aannemer ruimte krijgt voor eigen keuzen hangt af van de wijze van aanbesteden. Zo kan een aannemer vanwege de beschikbaarheid van schepen en ander materieel menen het werk tegen minder verliezen te kunnen klaren door meer vanuit het strand te werken.

Aanlegwijze

Voor het vaststellen van de kostenraming kan de hoeveelheid zand benodigd voor ontwerp onderverdeeld worden in drie posten

- Zand benodigd t.b.v. initiële aanleg;
- Zand voor kustlijnonderhoud;
- Zand om duinaangroei te bevorderen.

Bij de beschrijving van de alternatieven wordt onderscheid gemaakt naar de locatie in het profiel waarop het zand aangelegd wordt. Deze locaties zijn bepalend voor de methode van aanleg. In Afbeelding 4-7 worden de verschillende voor de aanleg van belang zijnde locaties aangegeven.



Afbeelding 4-7: Te onderscheiden locaties bij het bepalen van de hoeveelheden

Per locatie worden de onderstaande methoden van aanleg gehanteerd:

- Zand aan te voeren met sleepopper via onderlossen (1)
- Zand aan te voeren met sleepopper via spuiten (2)
- Zand aan te voeren met sleepopper via persleiding en bulldozer en eventueel in profiel brengen met kraan (3)
- Zand aan te voeren met sleepopper via persleiding naar depot, vervolgens transport per dumper en in profiel brengen met kraan (4)
- Zand aan te voeren met sleepopper via persleiding naar depot, gedurende 1 seizoen ontzilten, vervolgens transport per dumper en in profiel brengen met kraan (5)

Bij het verhogen van de duinen (methode 5) wordt ontzilt zand arm aan slib en grove delen aangebracht. Hiertoe wordt het geschikte zand eerst hoog op het strand in depot gebracht zodat het gedurende een seizoen kan ontzilten. Daarna wordt het per as naar locatie gebracht.

Bij zeewaarts verbreden is het ontzilten niet nodig. Hier wordt gekozen voor het opspuiten op het strand waarna het zand met bulldozers en eventueel met dumpers en een kraan in profiel wordt gebracht.

In onderstaande paragraaf, waar de verschillende ontwerpen van de alternatieven staan beschreven komt voor de zachte alternatieven tevens aan bod volgens welke van de hierboven beschreven methoden de kustversterking aan moet worden gelegd.

4.5 Ontwerp alternatieven

4.5.1 PMR duincompensatie

De PMR duincompensatie vormt voor de kustversterking onderdeel van de autonome ontwikkeling en daarmee van het *Referentiealternatief*. De meest geschikte plek voor de duincompensatie is tussen de Van Dixhoorndriehoek en de Banken gelegen. Op deze plaats vertoont de kust een holle knik waarin voldoende breedte voor de duincompensatie gevonden kan worden achter een nieuwe strakgetrokken kustlijn. De compensatie van PMR is volgens de (meest recente) opgave van de MER voor de Tweede Maasvlakte circa 9,8 hectare grijs duin en 6,1 hectare vochtige duinvallei. Het ontwerp voor de duincompensatie bestaat uit circa 27 hectare droog duin en circa 8 hectare vochtige duinvallei. De grotere maatvoering van de vochtige duinvallei is nodig om zeker te zijn dat een duurzaam beheersbare omvang van circa 6,1 hectare mogelijk is. De duinvallei ligt achter een nieuwe duinrichel waarvan de maatvoering bepaald wordt door een minimale breedte en een minimale lengte vanwege inpassing in een strakke kustlijn. Voor deze duinrichel is circa 27 hectare duin nodig.

In het *Referentiealternatief* en de alternatieven *Zeewaarts verbreden*, *Verhoogde duinen* en *Royaal zeewaarts verbreden* is het ontwerp van de PMR-duincompensatie nagenoeg identiek.

In figuur 4-8 is het basisontwerp van de duincompensatie weergegeven.



Afbeelding 4-8: Basisontwerp duincompensatie PMR

Zand voor aanleg duincompensatie

Onderstaand volgt een overzicht van de benodigde hoeveelheden zand voor het beschreven ontwerp. Er wordt onderscheidt gemaakt naar aanlegwijze en locatie van aanleg volgens de nummering uit Afbeelding 4-7.

Methode 1: deze hoeveelheid is gelijk aan het zand dat tussen de NAP -8 en -5 meter aangelegd wordt, te weten 1,0 miljoen m³. Dit is inclusief benodigde toeslagen, tevens is aangenomen dat de zandverliezen van het zand dat op het strand/duin wordt aangelegd ten goede komt aan de benodigde hoeveelheid voor methode 1.

Methode 3: het resterende deel van het zand wordt landwaarts van de laagwaterlijn aangelegd in het basisduin en het strand, deze hoeveelheid is gelijk aan 4,4 miljoen m³ zand. Voor de raming wordt aangenomen dat 1,1 miljoen m³ (25 %) van dit zand middels een kraan in profiel gebracht moet worden.

Verlengde aanleg

Om op termijn voldoende duinaangroei te garanderen wordt voorzien dat gedurende de eerste 20 jaar extra zand gesuppleerd dient te worden. Er wordt vanuit gegaan dat 5 jaarlijks een extra onderwatersuppletie van 300.000 m³ zand volstaat voor de duinontwikkeling; in totaal 3 keer in de komende 20 jaar.

4.5.2 Verhoogde duinen

In het alternatief *Verhoogde duinen* (zie Afbeelding 4-9) wordt de kust in hoofdzaak versterkt door zand op de bestaande duinen aan te brengen. Zoals reeds opgemerkt vormt de duincompensatie integraal onderdeel van dit alternatief. Voor Kijkduin, Solleveld en Ter Heijde is het vanwege bebouwing, kustlijn en aanwezige natuurwaarden moeilijk om het extra zand goed in te passen. Op deze plaatsen zijn daarom een *zachte* en een *harde variant* uitgewerkt. In de variant *Verhoogde duinen zacht* worden alle werken in zand uitgevoerd, waarbij ter hoogte van Kijkduin en Ter Heijde in zeewaartse richting de duinen worden verhoogd. In de *variant Verhoogde duinen hard* wordt voor Ter Heijde, delen van Solleveld en Kijkduin een harde verdediging aangebracht. Bij Ter Heijde en Solleveld gaat het om versterking en vervanging van een bestaande harde duinvoetverdediging. Bij Kijkduin gaat het om een nieuwe harde verdediging.

Variant Verhogen zacht

Beschrijving verhoogde duinen zacht

Het verzwaren van de bestaande zeereep door deze met zand op te hogen is een versterkingsstrategie die relatief weinig zand kost maar tot veel effecten op bestaande natuur leidt. Voor het waarborgen van de veiligheid moet ongeveer 5 miljoen m³ zand worden aangebracht. Het zand wordt zo aangebracht dat het huidige reliëf blijft behouden en waar mogelijk wordt geaccentueerd. De nadruk ligt op het verhogen van de eerste duinrichel, omdat die gemakkelijker en sneller herstelt. De vormgeving en maatvoering van het nieuwe duin wordt afgestemd op het aanwezige duin, de lokale veiligheidsopgave en een goede aansluiting op omliggend duingebied. Lokaal is het noodzakelijk om ook de tweede duinrichel te verhogen.

Over een oppervlak van circa 20 ha worden de bestaande duinen met meerdere meters zand opgehoogd. Hiervan ligt 13 hectare op witte duinen en 7 hectare op grijze duinen. Daar waar sprake is van een "kameelduin", twee duinenrijen met een hoog gelegen duinvallei daartussen, blijft de tussengelegen vallei zoveel mogelijk behouden, vanwege de aanwezige natuurwaarden. Op deze wijze worden effecten al zoveel mogelijk gemitigeerd, maar blijft sprake van veel resteffecten.

Het afdekken van bestaande duinen leidt tot effecten op bestaande natuurgebieden die gecompenseerd moeten worden. Conform het compensatiebeginsel van de provincie Zuid-Holland wordt hierbij ongeacht de status van het NB-wet gebied een toeslag gerekend (plus 50%) en moet voor compensatie 30 hectare extra duin worden aangelegd. Deze 30 hectare wordt in aansluiting op het duincompensatiegebied zeewaarts aangelegd tot aan Solleveld.

Ruimte maken

Door de duincompensatie voor PMR wordt 35 hectare compensatiegebied toegevoegd dat deels toegankelijk is voor recreanten. Door de versterkingswerken wordt 10 hectare extra duingebied toegevoegd maar dit vormt onderdeel van de zeereep en is in principe niet toegankelijk voor recreanten, de compensatieopgave als gevolg van de kustversterking levert nog eens 30 hectare duingebied.

Van PMR-duincompensatie tot aan Kijkduin wordt het strand verder verbreed om een meer natuurlijke duinontwikkeling mogelijk te maken. Voor het Westduinpark wordt de kustlijn strak doorgetrokken. Het bestaande strand wordt daarbij verbreed, waardoor het strand voor recreanten aantrekkelijker wordt.

Inrichting, gebruik en beheer

In dit alternatief moeten effecten worden gecompenseerd door de aanleg van extra duinen. Deze worden tegen het PMR duincompensatiegebied gelegd. Ook deze duinen zijn in hoofdzaak vrij toegankelijk en bieden mogelijkheden voor bijvoorbeeld een extra wandelpad. Door het robuuste en dynamische karakter ontstaan mogelijkheden voor natuurontwikkeling. De bestaande duinen staan minder bloot aan de invloed van zee en wind. Op dit deel van de zeereep ontstaan mogelijkheden om het beheer verder aan te passen gericht op het vergroten van natuurwaarden. Strandlagen blijven behouden en worden waar nodig verlengd en op voldoende hoogte gebracht. De huidige voorzieningen blijven minimaal gehandhaafd. Op plaatsen waar de duinvoet zeewaarts schuift, onder andere ter hoogte van de extra compensatieduinen, worden nutsvoorzieningen doorgetrokken en op capaciteit gebracht.

Onderhoud en ligging basiskustlijn

Ter hoogte van het duincompensatiegebied en de compensatieduinen schuift vanwege de kustversterking de kustlijn zeewaarts en zal ook de BKL zeewaarts worden verlegd. Bij het resterende deel van de kust zal de BKL beperkt zeewaarts verschoven worden als gevolg van het bredere strand.

Om de basiskustlijn te onderhouden zal regelmatig zand gesuppleerd dienen te worden. De nieuwe ligging van de BKL en het daarmee samenhangende kustonderhoud vormen onderdeel van dit alternatief. Door extra zand te suppleren wordt de natuurlijke aangroei van duinen bevorderd, waardoor men de geleidelijke toename van de veiligheidsopgave kan voorblijven. Na 50 jaar is dan geen of veel minder versterking nodig.

Ontwerp verhoogde duinen zacht

Onderstaand volgt een overzicht van de benodigde hoeveelheden zand voor het beschreven ontwerp. Er wordt onderscheid gemaakt naar aanlegwijze en locatie van aanleg volgens de nummering uit Afbeelding 4-7 uit het kader.

Methode 1: deze hoeveelheid is gelijk aan het zand dat tussen de NAP -8 en -5 meter aangelegd wordt, te weten 2,3 miljoen m³. Dit is dus inclusief benodigde toeslagen, daarnaast is aangenomen dat de zandverliezen van het zand dat op het strand/duin wordt aangelegd ten goede komt aan de benodigde hoeveelheid voor methode 1.

Methode 3: het resterende deel van het zand wordt landwaarts van de laagwaterlijn aangelegd nabij de duinvoet en op het strand, deze hoeveelheid is gelijk aan 3,4 miljoen m³ zand. Hierbij wordt ervan uitgegaan dat voor 850.000 m³ (25%) een bewerking met een kraan noodzakelijk is

Methode 5: het zand dat boven op het duin aangebracht wordt dient eerst gedurende een (winter) seizoen ontzilt te worden. De totale hoeveelheid bedraagt 1 miljoen m³.

Verlengde aanleg

Om op termijn voor het traject Ter Heijde - Kijkduin de duinaangroei te bevorderen wordt voorzien dat extra zand gesuppleerd dient te worden. Er wordt vanuit gegaan dat 5 jaarlijks een extra onderwatersuppletie van 250.000 m³ zand plaats vindt.

Toename van het reguliere onderhoud als gevolg van aanleg versterking

Als gevolg van de aanleg van alle alternatieven is de verwachting dat de onderhoudsbehoefte van de Delflandse kust zal toenemen met ca. 10 %. Dit resulteert in een toename van ca. 40.000 m³/jaar direct na aanleg tot een toename van het onderhoud met ca. 120.000 m³/jaar over 50 jaar.

Compensatie verplichting

Als gevolg van het gedeeltelijk verhogen van de duinen wordt ca. 20 ha bestaand duin afgedekt. Om de gevolgen hiervan te compenseren dient 30 ha extra duin aangelegd te worden. Hiervoor worden de volgende hoeveelheden zand voorzien:

Methode 3: het zand wordt landwaarts van de laagwaterlijn aangelegd nabij de duinvoet en op het strand, deze hoeveelheid is gelijk aan 5,0 miljoen m³ zand. Voor de raming wordt aangenomen dat 1,25 miljoen m³ (25 %) van dit zand middels een kraan in profiel gebracht moet worden.

Variant Verhogen hard

Beschrijving verhoogde duinen hard

De variant verhoogde duinen hard is voor het grootste deel van de kust hetzelfde als de variant verhoogde duinen zacht. De gebieden bij Ter Heijde, Solleveld en Kijkduin vormen hierop een uitzondering. Hier wordt in deze variant voor een harde verdediging gekozen. Dit voorkomt dat waar verhogen vanwege aanwezige bebouwing moeilijk inpasbaar is de kustlijn teveel naar buiten komt te liggen. Voor Ter Heijde en delen van Solleveld is nu al een harde duinvoetverdediging gelegen. Ter hoogte van Ter Heijde vraagt dit langs circa 1 kilometer een nieuwe harde verdediging met een hoogte van 13,9 meter (bij taludhelling 1 op 6). Een zelfde harde verdediging is nodig voor de lage duinen van Solleveld over een lengte van circa 1,4 kilometer. Deze harde verdediging is overigens niet zichtbaar omdat zij met zand weer wordt afgedekt. Bij Kijkduin ligt de harde verdediging onder het niveau van de huidige wandelpromenade. Het zicht op zee blijft behouden. De harde verdediging wordt aan de zeezijde beschermd door een diep ingeslagen damwand. De harde delen worden afgedekt door een laag zand voor een natuurlijker aanzicht.

Ontwerp verhoogde duinen hard

Onderstaand volgt een overzicht van de benodigde hoeveelheden zand voor het beschreven ontwerp. Er wordt onderscheidt gemaakt naar aanlegwijze en locatie van aanleg volgens de nummering uit Afbeelding 4-7.

Methode 1: deze hoeveelheid is gelijk aan het zand dat tussen de NAP -8 en -5 meter aangelegd wordt, te weten 2,3 miljoen m³. Dit is dus inclusief benodigde toeslagen, daarnaast is aangenomen dat de zandverliezen van het zand dat op het strand/duin wordt aangelegd ten goede komt aan de benodigde hoeveelheid voor methode 1.

Methode 3: het resterende deel van het zand wordt landwaarts van de laagwaterlijn aangelegd nabij de duinvoet en op het strand, deze hoeveelheid is gelijk aan 3,2 miljoen m³ zand. Hierbij wordt ervan uitgegaan dat voor 800.000 m³ (25%) een bewerking met een kraan noodzakelijk is

Methode 5: het zand dat boven op het duin aangebracht wordt dient eerst gedurende een (winter) seizoen ontzilt te worden. De totale hoeveelheid bedraagt 0,7 miljoen m³.

Verlengde aanleg

Om op termijn voor het traject Ter Heijde - Kijkduin de duinaangroei te bevorderen wordt voorzien dat extra zand gesuppleerd dient te worden. Er wordt vanuit gegaan dat 5 jaarlijks een onderwatersuppletie van 250.000 m³ zand plaats vindt.

Toename van het reguliere onderhoud als gevolg van aanleg versterking

Als gevolg van de aanleg van alle alternatieven is de verwachting dat de onderhoudsbehoefte van de Delflandse kust zal toenemen met ca. 10 %. Dit resulteert in een toename van ca. 40.000 m³/jaar direct na aanleg tot een toename van het onderhoud met ca. 120.000 m³/jaar over 50 jaar (zie hoofdstuk 3).

Compensatie verplichting

Als gevolg van het gedeeltelijk verhogen van de duinen wordt ca. 20 ha bestaand duin afgedekt. Om de gevolgen hiervan te compenseren dient 30 ha extra duin aangelegd te worden. Hiervoor worden de volgende hoeveelheden zand voorzien:

Methode 3: het resterende deel van het zand wordt landwaarts van de laagwaterlijn aangelegd nabij de duinvoet en op het strand, deze hoeveelheid is gelijk aan 5,0 miljoen m³ zand. Voor de raming wordt aangenomen dat 1,25 miljoen m³ (25 %) van dit zand middels een kraan in profiel gebracht moet worden.

Harde keringen Ter Heijde, Solleveld en Kijkduin

De benodigde harde keringen bij Ter Heijde, Solleveld en Kijkduin zijn uitgewerkt in hoofdstuk 2.



Afbeelding 4-9: Alternatief verhoogde duinen

4.5.3 Zeewaarts verbreden

Beschrijving zeewaarts verbreden

Een andere wijze voor het versterken van de kust is het zeewaarts verbreden van de bestaande duinen. Op deze wijze ontstaat een nieuwe duinenrij met bijbehorend gradiënt in luwte. De duinen worden daarmee verbreed en de ecologische hoofdstructuur versterkt. In Solleveld ontstaat een groter oppervlak aan grijze duinen.

Het zand wordt tot een hoogte van circa NAP + 7 meter tegen de huidige duinvoet aangebracht. Plaatselijk, zoals bij Ter Heijde en Kijkduin wordt het zand hoger tegen de duinen aangelegd, zodat de duinen minder zeewaarts worden verbreed. Bij Ter Heijde wordt dit gedaan om bolwerkvorming te voorkomen. Bij Kijkduin wordt de afstand tussen boulevard en strand daarmee niet groter dan nodig. Hierbij wordt een aflopend profiel richting zee aangelegd, dat door middel van actieve instuiving een natuurlijke vorm en bodemopbouw krijgt. Door aan de sluiten op de in hoofdzaak kale dynamische zeereep zijn de effecten op bestaande natuur minimaal. De vormgeving en maatvoering van het nieuwe duin wordt afgestemd op het aanwezige duin, de lokale veiligheidsopgave en een goede aansluiting op omliggend duingebied.

Niet overal is versterking nodig. Tussen plaatsen waar zeewaarts wordt versterkt, wordt voldoende zand in duin en strand aangebracht zodat een strakkere kustlijn ontstaat. Op deze wijze wordt "bolwerk" vorming voorkomen hetgeen anders tot extra onderhoud kan leiden.

Van PMR-duincompensatie tot aan Kijkduin wordt het strand verder verbreed om een meer natuurlijke duinontwikkeling mogelijk te maken. Voor het Westduinpark wordt de kustlijn strak doorgetrokken. Het bestaande strand wordt daarbij verbreed, waardoor het strand voor recreanten aantrekkelijker wordt.

Extra strand en duin wordt vooral aangelegd voor het zwakste, smalste deel van de Delflandse kust. Voor Ter Heijde is recent veel extra zand gesuppleerd. Hier hoeft daarom nog maar weinig extra zand te worden aangebracht. Zo ontstaat een strakkere kustlijn, waarbij met name ter hoogte van het Westduinpark en Kijkduin het strand wordt verbreed.

Ruimte maken

Door de duincompensatie voor PMR wordt 35 hectare compensatiegebied toegevoegd dat deels toegankelijk is voor recreanten. Door de versterkingswerken wordt nog eens 50 hectare extra duingebied toegevoegd. Dit vormt onderdeel van de zeereep en is in principe niet toegankelijk voor recreanten.

Onderhoud en ligging basiskustlijn

Langs de gehele Delflandse kust (met uitzondering van het zuidelijk deel van de Van Dixhoorndriehoek) wordt de BKL zeewaarts verlegd. De grootste verplaatsing van de basiskustlijn vindt plaats bij het duincompensatiegebied aangezien de kustlijn hier het verste opschuift. Langs het overige deel van de Delflandse kust wordt de BKL zeewaarts verplaatst als gevolg van de duinverbreding en het bredere strand.

Om de basiskustlijn te onderhouden zal regelmatig zand gesuppleerd dienen te worden. Door extra zand te suppleren wordt de natuurlijke aangroei van duinen bevorderd, waardoor men de

geleidelijke toename van de veiligheidsopgave kan voortblijven. Na 50 jaar is dan geen of veel minder versterking nodig.

Ontwerp zeewaarts verbreden

Onderstaand volgt een overzicht van de benodigde hoeveelheden zand voor het beschreven ontwerp. Er wordt onderscheidt gemaakt naar aanlegwijze en locatie van aanleg volgens de nummering uit Afbeelding 4-7.

Zand voor kustversterking

Methode 1: deze hoeveelheid is gelijk aan het zand dat tussen de NAP -8 en -5 meter aangelegd wordt, te weten 2,7 miljoen m³. Dit is dus inclusief benodigde toeslagen, daarnaast is aangenomen dat de zandverliezen van het zand dat op het strand/duin wordt aangelegd ten goede komt aan de benodigde hoeveelheid voor methode 1.

Methode 3: het resterende deel van het zand wordt landwaarts van de nieuwe laagwaterlijn aangelegd nabij de duinvoet en op het strand, deze hoeveelheid is gelijk aan 4,6 miljoen m³ zand. Hierbij wordt ervan uitgegaan dat voor 1,15 miljoen m³ (25%) een bewerking met een kraan noodzakelijk is.

Breder strand en extra duin voor traject De Banken - Kijkduin ten behoeve van duurzame veiligheid

Onderstaand volgt een overzicht van de benodigde hoeveelheden zand voor de aanleg van extra strand en extra duin zodat een volwaardige duinrichel kan ontstaan. Er wordt onderscheidt gemaakt naar aanlegwijze en locatie van aanleg volgens de nummering uit Afbeelding 4-7.

Methode 1: deze hoeveelheid is gelijk aan het zand dat tussen de NAP -8 en -5 meter aangelegd wordt, te weten 3,7 miljoen m³.

Methode 3: het resterende deel van het zand wordt landwaarts van de laagwaterlijn aangelegd nabij de duinvoet en op het strand, deze hoeveelheid is gelijk aan 1,7 miljoen m³ zand.

Verlengde aanleg ten behoeve van meegroeien met veiligheidsopgave

Om op termijn voor het traject Ter Heijde - Kijkduin de duinaangroei te bevorderen wordt voorzien dat extra zand gesuppleerd dient te worden. Er wordt vanuit gegaan dat 5 jaarlijks een onderwatersuppletie van 250.000 m³ zand plaats vindt.

Toename van het reguliere onderhoud als gevolg van aanleg versterking

Als gevolg van de aanleg van alle alternatieven is de verwachting dat de onderhoudsbehoefte van de Delflandse kust zal toenemen met ca. 10 %. Dit resulteert in een toename van ca. 40.000 m³/jaar direct na aanleg tot een toename van het onderhoud met ca. 120.000 m³/jaar over 50 jaar.



Afbeelding 4-10: Alternatief zeewaarts verbreden

4.5.4 Royaal zeewaarts verbreden

Beschrijving royaal zeewaarts verbreden

Het alternatief *Royaal zeewaarts verbreden* zet een stap verder dan het alternatief *Zeewaarts verbreden*, dat de basis vormt voor het aanbrengen van nog meer ruimtelijke kwaliteit. Extra kwaliteit kan worden gevonden in meer natuur, recreatie en veiligheid. Dit kan op twee wezenlijk verschillende manieren door het creëren van extra strandvlakte en door de aanleg van extra voorduinen. Bij de variant strandvlakte ligt de nadruk op een natuurlijke en dynamische ontwikkeling vooral met oog op natuurwaarden. Bij de variant voorduinen gaat het om natuur en ook meer voor recreanten toegankelijk duingebied.

Ontwerp variant strandvlakte

Zand voor versterking en ruimtelijke kwaliteit

Onderstaand volgt een overzicht van de benodigde hoeveelheden zand voor het beschreven ontwerp. Er wordt onderscheid gemaakt naar aanlegwijze en locatie van aanleg volgens de nummering uit Afbeelding 4-7.

Methode 1: deze hoeveelheid is gelijk aan het zand dat tussen de NAP -8 en -5 meter aangelegd wordt, te weten 10,6 miljoen m³. Dit is dus inclusief benodigde toeslagen, daarnaast is aangenomen dat de zandverliezen van het zand dat op het strand/duin wordt aangelegd ten goede komt aan de benodigde hoeveelheid voor methode 1.

Methode 3: het resterende deel van het zand wordt landwaarts van de laagwaterlijn aangelegd nabij de duinvoet en op het strand, deze hoeveelheid is gelijk aan 38,1 miljoen m³ zand.

Ruimte maken

Door de duincompensatie voor PMR wordt 35 ha compensatiegebied toegevoegd dat deels toegankelijk is voor recreanten. Door de versterkingswerken wordt nog eens 60 ha extra duingebied toegevoegd, dat als gevolg van de duurzame uitvoering mogelijk deels toegankelijk gemaakt kan worden voor recreanten.

Onderhoud en ligging basiskustlijn

Langs de gehele kust zal de BKL zeewaarts verschuiven als gevolg van de duinverbreding en het bredere strand.

Om de basiskustlijn te onderhouden zal regelmatig zand gesuppleerd dienen te worden. Door extra zand te suppleren wordt de natuurlijke aangroei van duinen bevorderd.

Ontwerp variant voorduinen

In aanvulling op het zeewaarts verbreden alternatief wordt in deze variant een aanzienlijk oppervlak aan nieuwe duinen aangelegd. Hiermee wordt ook het voorduinlandschap van de Van Dixhoorndriehoek verder doorgezet tot aan Kijkduin. Vanaf Kijkduin wordt in deze variant het strand voor het Westduinpark verbreed tot een voor de strandrecreatie geschikte breedte.

Voor de maatvoering wordt gekoerst op het minimaal consolideren van de afslaglijn in het 200 jaar maximaal scenario. Op deze wijze wordt ook de reserveringsstrook vrijgespeeld voor eventuele toekomstige ontwikkelingen.

Zand voor versterking en ruimtelijke kwaliteit

Onderstaand volgt een overzicht van de benodigde hoeveelheden zand voor het beschreven ontwerp. Er wordt onderscheid gemaakt naar aanlegwijze en locatie van aanleg volgens de nummering uit Afbeelding 4-7.

Methode 1: deze hoeveelheid is gelijk aan het zand dat tussen de NAP -8 en -5 meter aangelegd wordt, te weten 11 miljoen m³. Dit is dus inclusief benodigde toeslagen, daarnaast is aangenomen dat de zandverliezen van het zand dat op het strand/duin wordt aangelegd ten goede komt aan de benodigde hoeveelheid voor methode 1.

Methode 3: het resterende deel van het zand wordt landwaarts van de laagwaterlijn aangelegd nabij de duinvoet en op het strand, deze hoeveelheid is gelijk aan 41,1 miljoen m³ zand.



Afbeelding 4-11: Alternatief royaal zeewaarts voorduinen

Ruimte maken

Door de duincompensatie voor PMR wordt 35 ha compensatiegebied toegevoegd dat deels toegankelijk is voor recreanten. Door de versterkingswerken wordt nog eens 100 ha extra duingebied toegevoegd, dat deels toegankelijk gemaakt wordt voor recreanten.



Onderhoud en ligging basiskustlijn

Langs de gehele kust zal de BKL zeewaarts verschuiven als gevolg van de duinverbreding en het bredere strand.

Om de basiskustlijn te onderhouden zal regelmatig zand gesuppleerd dienen te worden. Door extra zand te suppleren wordt de natuurlijke aangroei van duinen bevorderd.

5 EFFECTEN VEILIGHEID EN MORFOLOGIE

5.1 Effecten veiligheid

De drie in het MER uitgewerkte alternatieven worden beoordeeld op hun effecten. Eén van deze effecten is veiligheid. Alle alternatieven dienen te voldoen aan de veiligheidsopgave: ze dienen de Delflandse kust op een dusdanige wijze te versterken zodat de kust de komende 50 jaar veilig is. Op dit onderdeel kunnen en mogen de beschouwde alternatieven dus niet onderscheidend zijn. Naast dit aspect zijn er met betrekking tot veiligheid nog twee aspecten gedefinieerd waar de effecten van de alternatieven voor moeten worden bepaald. De effecten waar de alternatieven op worden beoordeeld die betrekking hebben op veiligheid zijn:

- Waarborgen veiligheid voor 50 jaar;
- Duurzame veiligheid voor 50 jaar;
- Dynamisch meegroeien met de veiligheidsopgave.

Hier onder wordt per aspect op basis van het gemaakte ontwerp in hoofdstuk 4 bepaald welke veiligheidseffecten de alternatieven hebben.

Waarborgen veiligheid voor 50 jaar

Het waarborgen veiligheid voor 50 jaar is een ontwerprandvoorwaarde voor alle alternatieven en is daarom niet onderscheidend tussen de alternatieven. Alle alternatieven waarborgen de **veiligheid** voor de komende 50 jaar door het aanbrengen van zand. De uitzondering vormt *Verhoogde duinen hard*. De harde elementen zijn ontworpen voor 100 jaar en dientengevolge biedt dit alternatief ter hoogte van Ter Heijde, het zuidelijk deel van Solleveld en bij Kijkduin veiligheid voor een langere periode.

Duurzame veiligheid voor 50 jaar

In aanvulling op het waarborgen van de veiligheid wordt bij een aantal alternatieven meer zand aangelegd in de vorm van extra duinen wat leidt tot een **duurzame** veiligheid voor de Delflandse kust. *Zeewaarts verbreden* voorziet in de aanleg van een duinenrij waardoor op veel plaatsen meer zand wordt aangebracht dan voor de veiligheid nodig is.

Verhoogde duinen vraagt om een aanzienlijk oppervlak aan compensatie duinen. Deze laatste worden aansluitend op de duincompensatie in hoofdzaak voor de smalle zeereep tot Ter Heijde aangelegd. Lokaal leidt dit tot een duinenrij met meer zand dan voor de veiligheid noodzakelijk. Voor het overige deel van de kust wordt de versterking uitgevoerd conform de veiligheidseisen, hier wordt dus geen extra veiligheid gecreëerd. In het alternatief *Verhoogde duinen hard* zijn de harde elementen ontworpen voor 100 jaar en dientengevolge biedt dit alternatief ter hoogte van Ter Heijde, het zuidelijk deel van Solleveld en bij Kijkduin veiligheid voor een langere periode. De *royale alternatieven* scoren op dit criterium het best, door de extra uitbouw van duin en strand wordt langs de gehele Delflandse kust veel meer zand aangebracht dan voor de veiligheid noodzakelijk.

Dynamisch meegroeien met de veiligheidsopgave

Strandverbreding in combinatie met structurele suppleties stimuleert natuurlijke duinvorming. Op deze wijze is het mogelijk om de kust mee te laten groeien met de veiligheidsopgave. Slechts

een deel van het zand dat voor de verschillende alternatieven wordt aangebracht is benodigd voor natuurlijke duinvorming en dus het bijhouden van de veiligheidsopgave in de komende 50 jaar. Het is lastig om in te schatten wat de omvang is van natuurlijke duinvorming. De snelheid van natuurlijke duinvorming is globaal ingeschat aan de hand van analyses van Jarkusraaien over de laatste jaren voor de van Dixhoorndriehoek (zie paragraaf 4.9).

Al met de aanleg van de duincompensatie wordt voor een deel van de kust het strand verbreed om natuurlijke duinvorming te stimuleren. In alle alternatieven wordt het strand tot aan Kijkduin verbreed om langs bijna de gehele kust natuurlijke duinontwikkeling te stimuleren. Het verbreden van het strand maakt het **dynamisch meegroeien met de veiligheidsopgave** mogelijk. Om dit proces te realiseren zijn er extra suppleties nodig boven op het reguliere BKL onderhoud. Voor het Westduinpark wordt dit niet nodig geacht omdat hier al sprake is van een breed duingebied. Solleveld is weliswaar ook een breed duingebied maar vanwege de lage duinen ook kwetsbaar. De verwachting is dat de aangroeijsnelheid van het duin als gevolg van het verbrede strand voldoende is om de toename in de veiligheidsopgave te kunnen bij benen.

De breedte van het strand is in de alternatieven *verhoogde duinen zacht* en *zeewaarts verbreden* gelijk. Daarmee is de mogelijkheid om dynamisch mee te groeien met de veiligheidsopgave tussen deze alternatieven niet onderscheidend. *Verhoogde duinen hard* heeft weliswaar een net zo breed strand als *verhoogde duinen zacht*, het is echter zo dat het dynamisch meegroeien van een harde constructie bij Ter Heijde en Kijkduin minder goed mogelijk is. Wel is dit alternatief makkelijk uit te breiden met een zeewaartse (zandige) versterking.

De omstandigheden voor natuurlijke duinvorming bij de *royaal zeewaartse alternatieven* het meest optimaal aangezien hier het breedste strand aan wordt gelegd.

Alternatief:	Verhoogde duinen		Zeewaarts verbreden	Royaal zeewaarts verbreden	
	zacht	hard		voorduin	strandvlakte
Aspect:					
Waarborgen veiligheid	+	+	+	+	+
Duurzame veiligheid	+	+	+	++	++
Meegroeien met veiligheidsopgave	+	+ / 0	+	++	++

Tabel 5-1: Samenvattende tabel waarborgen veiligheid

5.2 Effecten morfologie

De alternatieven worden beoordeeld op de volgende morfologische effecten:

- Strakke kustlijn en omvang kustonderhoud;
- Effecten op scheepvaartgeulen.

De voorgaande beschreven morfologische studie is met name gericht op het bepalen van de invloed op de onderhoudsbehoefte. Het effect op de toegangseul naar Scheveningen is ook aan

bod gekomen. Op basis van de voorgaande analyse worden de effecten van de alternatieven op de morfologie als volgt beoordeeld:

Alternatief:	Verhoogde duinen		Zeewaarts verbreden	Royaal zeewaarts verbreden	
	zacht	hard		voorduin	strandvlakte
Aspect:					
Omvang kustonderhoud	0/-	0/-	0/-	-	-
Onderhoud scheepvaartgeulen	0	0	0	--	--

Tabel 5-2 Samenvattende tabel effecten morfologie

6 UITWERKING VOORKEURSALETERNATIEF

6.1 Bepaling indicatieve nieuwe ligging basiskustlijn

Definities en huidig beleid kustlijn

Sinds 1990 wordt in Nederland de ligging van de kustlijn nauwlettend in de gaten gehouden en getoetst aan de in 1990 vastgelegde Basiskustlijn (BKL). De BKL is de volgens een afgesproken definitie bepaalde kustlijn die wordt gehandhaafd. De basiskustlijn komt overeen met de ligging van de gemiddelde kustlijn in 1990. De ligging van de basiskustlijn wordt geëvalueerd en indien nodig aangepast. De parameters die gebruikt worden voor het vaststellen van de basiskustlijn dienen elke 10 jaar te worden aangepast aan de zeespiegelstijging (3^{de} Kustnota).

Ieder jaar wordt op basis van de jaarlijkse kustmetingen (JARKUS) de ligging van de Momentane Kust Lijn (MKL) vastgelegd. Omdat sinds 1965 JARKUS metingen zijn uitgevoerd is het mogelijk om de ligging van de MKL te bepalen in de jaren vóór de vastlegging van de BKL.

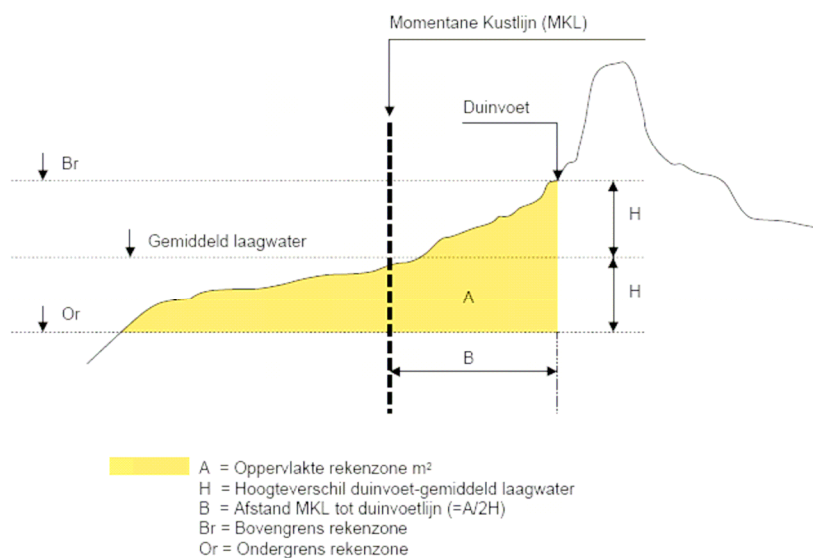
Op basis van 10 MKL meetpunten van voorgaande jaren wordt door middel van extrapolatie de ligging van de kustlijn op 1 januari van het komend jaar bepaald. Dit is de te Toetsen Kust Lijn (TKL) (RIKZ, 2003). De geëxtrapolerde TKL wordt ieder jaar getoetst aan de norm, de BKL. Als bij de toetsing blijkt dat de norm is overschreden, of dreigt overschreden te worden, moet er worden ingegrepen. In het algemeen betekent dit dat een strandsuppletie wordt uitgevoerd (RIKZ, 1998). De definities en methode behorende bij de handhaving van de kustlijn staan respectievelijk weergegeven in onderstaande kaders.

Definities MKL, BKL & TKL (TAW, 1995)

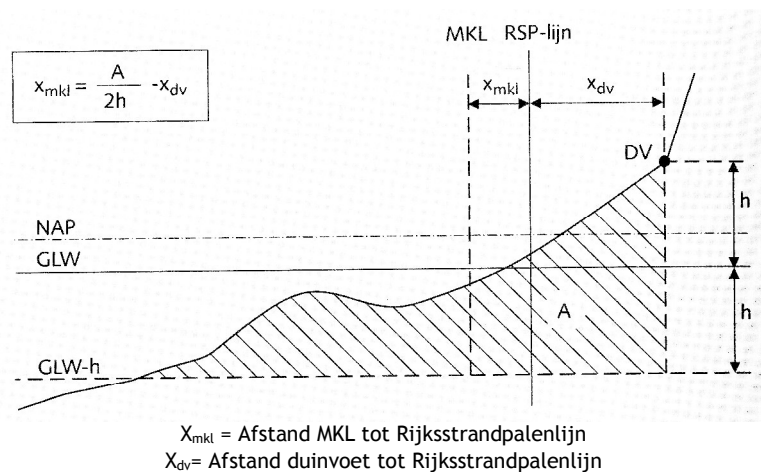
- MKL:** Momentane kustlijn: Ligging van de kustlijn op het moment van de jaarlijkse kustmeting (JARKUS), die wordt bepaald uit het aanwezige volume in een bepaalde zone (=BKL-zone). De NAP +3m lijn en de NAP -4.40m lijn vormen de begrenzing van de BKL-zone. Aan de ligging van een individueel MKL punt in een willekeurig jaar wordt geen bijzondere betekenis toegekend.
- BKL:** Basiskustlijn: Eenmalig vastgestelde ligging van de kustlijn die in principe de ligging van de kustlijn op 1 januari 1990 weergeeft. De ligging van de basiskustlijn is voor iedere afzonderlijke raai bepaald. Het is de norm voor het handavingsbeleid van de overheid. De ligging van de BKL is bepaald door extrapolatie van de lineaire trend die kan worden afgeleid uit de ligging van 10 MKL-punten in de jaren 1980-1989.
- TKL:** Toetsen kustlijn: Ligging van de kustlijn in het jaar volgend op het jaar waarin de laatste kustmetingen hebben plaatsgevonden. De ligging van de kustlijn in het jaar T wordt berekend door uit te gaan van de ligging van de MKL-punten van de voorgaande 10 jaar door een lineaire trendlijn te fitten naar 1 januari van het jaar T.

REKENZONE MKL & BKL

MKL (Roelse, 2002)



Basisrapport Zandige Kust, 1995



Verplaatsing basiskustlijn Delfland

Het voorkeursalternatief van de MER planstudie versterking zeewering Delflandse kust is zeewaarts verbreden, waarbij strand wordt verbreed en duin zeewaarts wordt uitgebouwd. De extra aan te brengen zandvolumes vergroten de veiligheid van de Delflandse kust.

Om ervoor te zorgen dat na de aanleg van de kustversterking de kust veilig blijft, en dus de aangebrachte zandvolumes hoog in het profiel blijven liggen, dient de kust onderhouden te

worden. Vastgelegd is in het Provinciaal Overleg Kust (van 28-9-2005) dat na de kustversterking de basiskustlijn zeewaarts wordt verplaatst. Door het uitvoeren van de reguliere BKL suppleties wordt de nieuwe kustlijn net als in de huidige situatie onderhouden.

De basiskustlijn dient dus opnieuw vastgesteld te worden zodat na de kustversterking de ligging van de kustlijn op bovenstaande beschreven wijze kan worden getoetst aan de nieuwe verlegde BKL en zo nodig onderhoudssuppleties kunnen worden uitgevoerd.

Om een inschatting te maken van de nieuwe ligging van de basiskustlijn is op de geconstrueerde ontwerpraaien bovenstaande rekenmethodiek toegepast. Een toelichting op de uitgevoerde berekeningen is hieronder weergegeven.

Inschatting nieuwe BKL Delfland

De begrenzingen van de zone waarmee de ligging van de BKL, MKL en TKL worden bepaald wisselen langs de kust. De BKL zone langs de Delflandse kust heeft in de huidige situatie de onderstaande begrenzingen. Aangenomen wordt dat in de nieuwe situatie de begrenzing van de BKL-zone gelijk is aan de huidige situatie.

- Bovengrens: NAP + 3 meter;
- Ondergrens: NAP -4,40 meter.

Uit de geconstrueerde ontwerpprofielen waarin het (indicatieve) nieuwe kustprofiel wordt weergegeven is de BKL zone geselecteerd, waarvan vervolgens het volume is bepaald. Met bovenstaande (kader) rekenformule is het mogelijk om de afstand tussen nieuwe BKL en de duinvoetlijn te bepalen. Aangenomen is dat de bovengrens van de BKL zone samenvalt met de ligging van de duinvoet, in dit geval dus NAP +3 meter. Uit het ontwerpprofiel is bekend op welke afstand de 'duinvoet' uit de Rijksstrandpalenlijn (RSP) ligt. Hiermee kan vervolgens de afstand tussen nieuwe BKL en RSP worden bepaald.

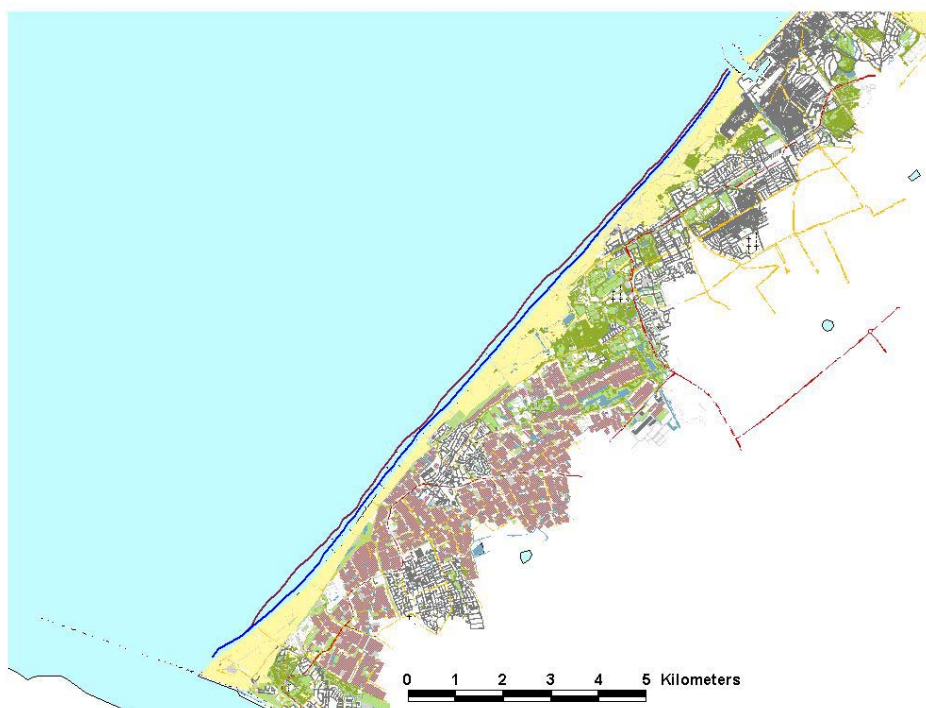
Opgemerkt dient te worden dat na de kustversterking op de meeste locaties de duinvoet zeewaarts ligt ten opzichte van de RSP en de situatie afwijkt van de situatie geschetst in bovenstaande figuur. Hier dient met het berekenen van de nieuwe BKL rekening te worden gehouden. Overigens ligt in de huidige situatie de duinvoet in bijvoorbeeld Hoek van Holland (Van Dixhoorndriehoek) ook al zeewaarts van de RSP.

Een inschatting van de nieuwe ligging van de BKL ten opzichte van de huidige ligging van de BKL wordt weergegeven in afbeelding 6-1. Tussen de verschillende nieuwe punten voor de basiskustlijn is een vloeiende lijn getrokken.

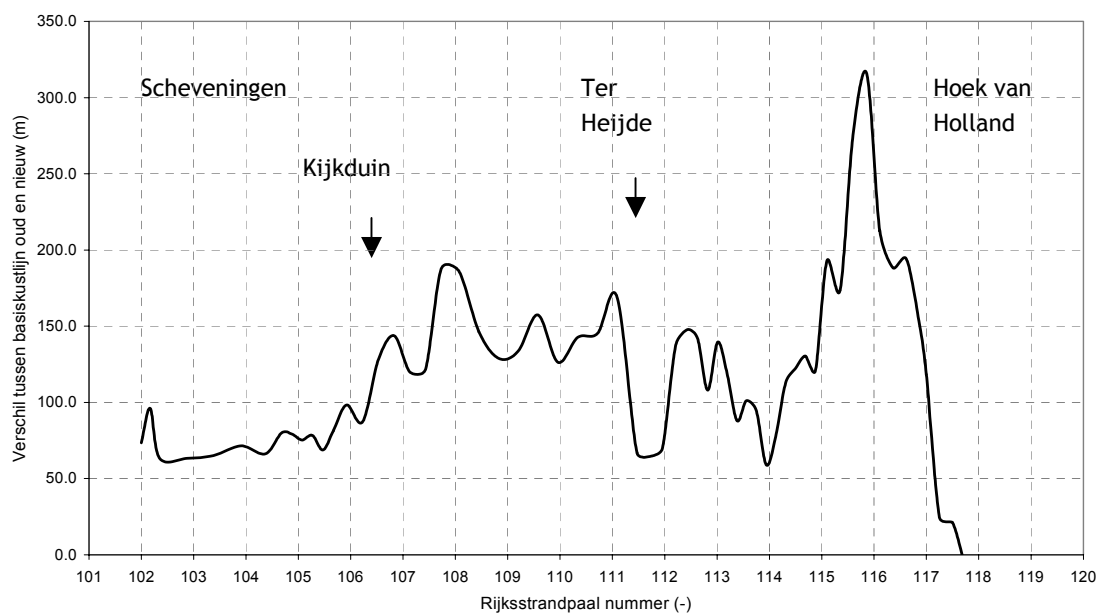
Zichtbaar is dat logischerwijs de nieuwe ligging van de BKL zeewaarts is ten opzichte van de huidige BKL; in het alternatief vindt immers zeewaartse verbreding plaats. De nieuwe BKL sluit aan op de huidige ligging van de BKL in de Van Dixhoorndriehoek aangezien daar geen verbreding van de kust plaatsvindt.

Ook is in onderstaande figuur zichtbaar dat op de locaties waar een minder grote zeewaartse uitbreiding plaatsvindt de basiskustlijn minder ver zeewaarts verplaatst, zoals bij bijvoorbeeld Ter Heijde goed zichtbaar is.

Het verschil tussen de huidige basiskustlijn en de nieuwe ligging van de basiskustlijn is weergegeven in Afbeelding 6-2.



Afbeelding 6-1 Ligging van de basiskustlijn (oud en nieuw, indicatief) langs de Delflandse kust



Afbeelding 6-2 Verschil tussen huidige basiskustlijn en nieuwe basiskustlijn.

N.B. 1: Ontwerpprofielen

De berekeningen voor het bepalen van de nieuwe indicatieve ligging van de kustlijn zijn uitgevoerd op ontwerpprofielen. Echter, dit zijn profielen die niet op deze wijze kunnen worden aangelegd. Met het uitvoeren van strandsuppleties en onderwatersuppleties wordt een hoeveelheid zand (zo hoog mogelijk) in het profiel aangebracht. Door middel van het dwarstransportproces (onderwatersuppleties) en natuurlijke duinvorming door eolisch transport (strandsuppleties) wordt het zand in het profiel getransporteerd naar hoger gelegen delen. Het is de bedoeling dat na verloop van tijd (ordegrootte enkele jaren; afhankelijk van de gekozen uitvoermethode door aannemer) het ontwerpprofiel zoals nu is geconstrueerd wordt benaderd.

N.B. 2: Verlengde aanleg

Zoals hierboven geschetst is de berekening van de basiskustlijn uitgevoerd op ontwerpprofielen. Op een aantal locaties langs de kust (onder andere duincompensatiegebied en Solleveld) wordt een extra breed strand gerealiseerd zodat na de aanleg van de initiële kustversterking natuurlijke duinvorming op kan treden en aangroei van het duin plaats kan vinden. Op deze wijze is het mogelijk om dynamisch mee te groeien met de veiligheidsopgave. Gedurende de planperiode groeit de kust dus nog aan.

Wordt de BKL dus vastgesteld volgens bovenstaand voorstel dan dient er mee rekening gehouden te worden dat het in de toekomst verstandig kan zijn om de BKL opnieuw aan te passen als er duinaangroei plaats heeft gevonden. Op deze wijze kan gegarandeerd worden dat de duinaangroei die plaats vindt ook wordt onderhouden.

N.B. 3: Vaststellen ligging basiskustlijn

Rijkswaterstaat zal de nieuwe ligging van de basiskustlijn voor de Delflandse kust vaststellen. Daarvoor bestaan twee mogelijkheden:

Direct vaststellen van de nieuwe basiskustlijn

Op basis van de ontwerpprofielen kan de basiskustlijn worden vastgesteld (zie hierboven). Na het fitten van een lijn door de verschillende berekeningspunten ontstaat dan een vloeiende basiskustlijn. Het probleem bij het hanteren van deze methode is dat de basiskustlijn is bepaald aan de hand van het ontwerp dat na het uitvoeren van de kustversterking in de loop der tijd moet ontstaan. Wordt bijvoorbeeld een jaar na het uitvoeren van de kustversterking de TKL getoetst aan de BKL dan zal een overschrijding worden gemeten van de kustlijn, wat betekent dat een tekort ontstaat ten opzichte van BKL. Volgens het huidige beleid zal dan een suppletie plaats moeten vinden om dit tekort op te heffen. Echter in feite is het zo dat in dit scenario de nieuwe basiskustlijn is vastgesteld op een toekomstige situatie die zich nog moet vormen. Dit resulteert automatisch in het meten van een overschrijding van de BKL. Indien het RIKZ, die de toetsing van de BKL uitvoert, dit gegeven meeneemt bij het toetsen, hoeft het meten van een overschrijding niet direct te leiden tot het uitvoeren van een suppletie. Uiteraard dient wel gemonitord te worden of de beoogde aangroei van het duin en strand daadwerkelijk plaats vindt.

Bijstellen van de basiskustlijn in fasen

Een andere mogelijkheid is dat de ligging van de basiskustlijn wordt bijgesteld gedurende de periode waarin de Delflandse kust in ontwikkeling is en aangroeit voor de kustbescherming. Het voordeel van deze methode is dat geen overschrijdingen worden gemeten van de basiskustlijn en geen onderhoudssuppleties nodig zijn. Nadeel is echter dat niet te voorspellen is met welk tijdsinterval het verstandig is om de BKL aan te passen. De snelheid van de kustaangroei (en

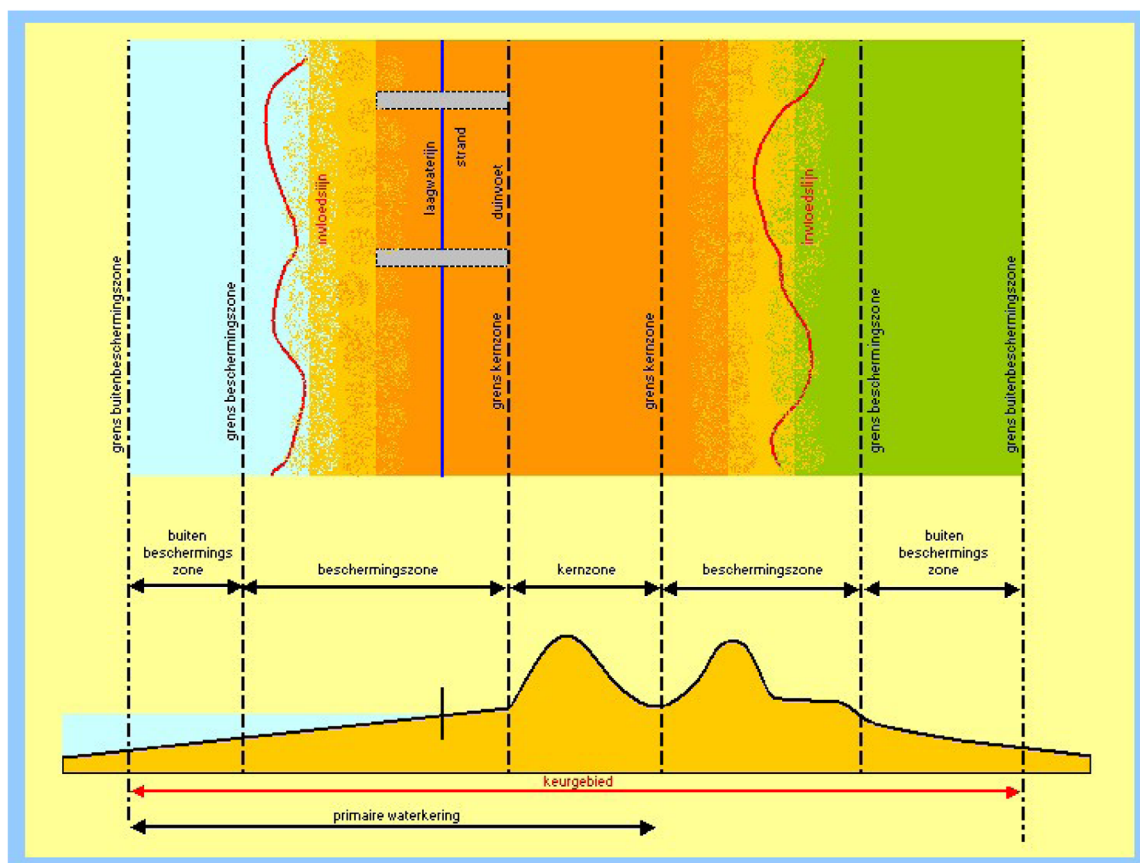
wellicht periodes van stagnatie en of afslag) kan namelijk een grillig verloop hebben aangezien dit afhankelijk is van de hydrodynamische condities die optreden.

6.2 Veiligheid VKA en benodigde reservering

Kernzone en beschermingszone

Bij elke type waterkering kunnen in dwarsrichting een aantal zones worden onderscheiden, namelijk de kernzone met aan beide zijden de beschermingszone en de buitenbeschermingszone die samen het keurgebied vormen (zie afbeelding 6-3). Begrenzings en zones zijn in de legger van de zeewering vastgelegd.

Deze indeling is gemaakt om de waterkering te kunnen beschermen en de veiligheid te kunnen waarborgen en heeft direct te maken met het vereiste beschermingsniveau van de waterkering in het keurgebied. In de kernzone gelden de meest zware restricties en in de buitenbeschermingszone de minst zware.



Afbeelding 6-3 : Beschermingszones en kernzone in de primaire waterkering (Waterschap Zeeuws Vlaanderen 2004)

De primaire waterkering komt overeen met de kernzone, de beschermingszone aan zeewaartse zijde en de buitenbeschermingszone aan zeewaartse zijde van de kernzone.

Voor de dimensionering van de **kernzone** gelden de afmetingen die nodig zijn om het huidige type waterkering als zodanig te kunnen laten functioneren.

Voor de afmetingen van de **beschermingszone** wordt uitgegaan van een strook-breedte waardoor de stabiliteit van de kering wordt gegarandeerd. Bovendien wordt in deze zone ruimte gereserveerd voor de toekomstige aanpassingen van de waterkering gedurende de komende 200 jaar.

Voor het dimensioneren van de **buitenbeschermingszone** wordt voor de primaire waterkeringen uitgegaan van een strookbreedte ter weerszijden van de beschermingszones. Dit vormt de extra reserve voor de bescherming van de waterkering na toekomstige verzwaringen.

De uitvoering van de kustversterking en de duincompensatie leidt mogelijk tot een wijziging in de ligging van de bovengenoemde zones in de legger.

Bepaling afslagprofielen voorkeursalternatief

De voor het VKA opgestelde profielen zijn doorgerekend met de ontwerprandvoorwaarden voor 50 jaar om de afslaglijnen te bepalen.

De resultaten van de berekeningen zijn per raai opgenomen in bijlage 3. De ruimtelijke weergave van de berekeningsresultaten is opgenomen in bijlage 6 van het verbeteringsplan.

Benodigde ruimtereservering

Bij het bepalen van de minimaal benodigde *landwaartse ruimtereservering* is de benodigde versterking en dus de benodigde ruimtereservering als volgt vastgesteld:

- In het profiel wordt het hoogste punt gezocht;
- Landwaarts van het hoogste punt wordt zand aangevuld tot een hoogte gelijk aan het grensprofiel;
- De breedte van het aan te brengen zandpakket volgt uit de afslagberekening: Er dient zoveel zand aangebracht te worden, dat het profiel net niet doorbreekt (ofwel: afslagprofiel, toeslagprofiel en grensprofiel moeten precies in het profiel passen).

Wanneer de bovenstaande werkwijze wordt gevolgd, verschilt de uiteindelijke positie van het aangebrachte zand nogal. De ene keer wordt het zand in de bestaande duinen aangebracht en de andere keer vindt versterking van het duin aan landzijde van het duin plaats.

Uitgangspunt is echter dat de benodigde versterking (ruimte reservering) aan de landzijde van het bestaande duin aangebracht moet kunnen worden.

Uit een visuele inspectie van de resultaten volgt dat bij een aantal profielen het additionele zandvolume niet op de juiste plaats in het profiel is aangebracht. Deze profielen zijn op de volgende wijze handmatig aangepast:

- De exacte locatie waar de duinverzwaring moet aansluiten op het bestaande duin (namelijk aan de achterzijde van het bestaande duin) is bepaald aan de hand van de visuele inspectie;
- Vanaf deze bepaalde locatie wordt onder een helling van 1:1 het profiel verhoogd tot het niveau van het grensprofiel;

Het dwarsprofiel is op het niveau van het grensprofiel ver in landwaartse richting doorgetrokken, zodat uit de berekening altijd een afslagpunt volgt.

De resultaten van de berekeningen zijn per raai opgenomen in bijlage 3. De ruimtelijke vertaling van de berekeningsresultaten is weergegeven in bijlage 6 van het verbeteringsplan.

Niet waterkerende objecten

Deze objecten kunnen een zekere invloed hebben op de veiligheid van de waterkering. Het effect van deze constructies kan worden meegenomen door het onttrekken van een evenredig zandvolume. Als gevolg hiervan zal er sprake zijn van extra afslag en daarmee een afnemende veiligheid.

Daar waar de constructie of niet waterkerend object leidt tot een vermindering van de hoeveelheid afslag zal er naast de constructie juist sprake zijn van extra afslag. De ontgrondingskuil voor de constructie of niet waterkerend object zal zand onttrekken uit naastgelegen kustsecties. Het aanwezige zandvolume zal in kustlangse richting nivelleren.

In het voorkeursalternatief is gekozen voor een volledig zandige versterking. Er wordt geen waterkerend vermogen meer toegekend aan de duinvoetverdediging bij Ter Heijde, deze wordt dan ook beschouwd als een niet waterkerend object. De maatgevende condities voor de naastgelegen kustsecties treden als de duinvoetverdediging wel bestand is tegen de ontgroning en golfaanval tijdens de maatgevende condities. Door de aanwezigheid van de basaltglooiing zal er in het kustvak langs de glooiing weinig zand vanuit het duin eroderen. Dit heeft tot gevolg dat er een ontgrondingskuil voor de constructie zal ontstaan. Aan de beide uiteinden van de basaltglooiing zal echter wel veel zand uit het duin eroderen, waardoor er op de vooroever voldoende zand aanwezig zal zijn. Als gevolg van herverdeling van zand zal de ontgrondingskuil voor de basaltglooiing worden opgevuld met zand en zal er aan weerszijde van de basaltglooiing extra erosie optreden.

Uit berekeningen in een eerder onderzoek voor de bestaande situatie (met vigerende randvoorwaarden) blijkt dat deze extra erosie aan de beide uiteinden van de basaltglooiing (respectievelijk RSP 109,58 en RSP 112,20) net geen doorbraak van het profiel tot gevolg zal hebben. Het resterende zandvolume boven rekenpeil is echter zo klein, dat een grensprofiel niet meer inpasbaar is. De extra erosie die hierbij in rekening werd gebracht als gevolg van het onthouden zandvolume bedroeg 10 tot 13 meter (Alkyon, [2003]).

De afslagpunten voor RSP 109,58 en RSP 112,20 liggen voor het voorkeursalternatief onder ontwerpcondities echter 90 respectievelijk 55 meter verder zeewaarts dan in de situatie uit Alkyon (2003). De verwachting is dan ook dat er voldoende ruimte aanwezig is in de kustsecties naast de duinvoetverdediging om de extra teruggang (T_e) veilig op te kunnen vangen.

6.3 Kijkduin risico-ontwikkeling

Inleiding

Bij Kijkduin is bebouwing aanwezig op het duin in de afslagzone. Hierbij kan bij een superstorm aanzienlijke schade ontstaan, ook onder omstandigheden waarbij de veiligheid van het achterland niet in gevaar is. Het voorste deel van deze zone heeft een kans op afslag in de orde van eens in de 500 jaar. In de afslagzone gelden bouwbeperkingen die erop gericht zijn het aanwezige zand in dit belangrijke deel van de zeereep te behouden.

Het beheersen van de risico's in kustplaatsen is niet alleen voor Kijkduin een actueel onderwerp. Om tot landelijk beleid te komen is in mei 2005 de Commissie Bescherming en Ontwikkeling van Buitendijks gebied in Kustplaatsen ingesteld.

De Commissie stelt dat er in zijn algemeenheid geen aanleiding is de huidige bescherming in buitendijkse gebieden langs de kust te verhogen. Het is wél onwenselijk dat de bescherming van woningen en bedrijfspanden tegen de zee als gevolg van autonome ontwikkelingen, zoals zeespiegelstijging en klimaatverandering, achteruit zou gaan. Er kan dan immers niet gesproken worden van het door burgers en ondernemers bewust nemen van risico's. De Commissie adviseert de huidige bescherming van kustplaatsen te handhaven. Uitgangspunt voor het ontwikkelen van de versterkingsalternatieven was dat dit risico op afslag niet mag toenemen.

Benodigde versterking voor zeewaarts verbreden

In het MER voor de Delflandse kust is een aantal versterkingsalternatieven en varianten onderzocht. Als voorkeursalternatief is uiteindelijk gekozen voor het alternatief Zeewaarts Verbreden. Voor een verdere onderbouwing van deze keuze wordt verwezen naar het MER.

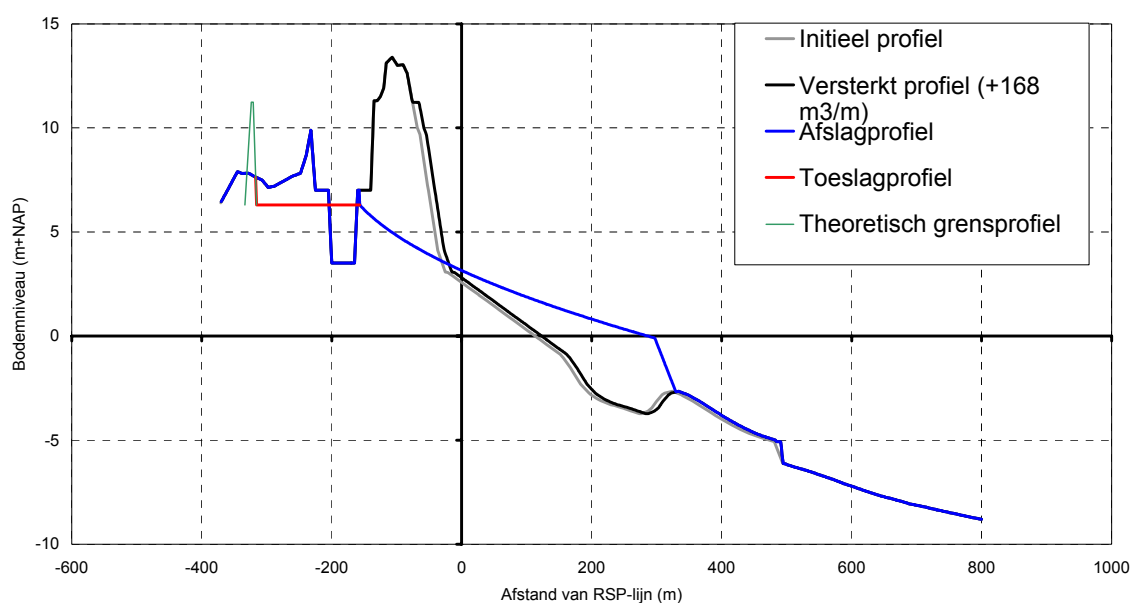
De benodigde versterking voor de Delflandse kust is bepaald voor 81 ruimtelijk langs de kust verdeelde locaties. Alleen op deze locaties worden jaarlijkse jarkus metingen uitgevoerd, verondersteld wordt dat deze locaties representatief zijn voor het gehele kustvak. Op basis van uitgevoerde berekeningen voor deze raaien werd gekomen tot een noodzakelijke verbreding van het duin met 20 meter voor Kijkduin.

In Kijkduin is geconstateerd dat het duin op een aantal plekken tussen de gemeten raaien in minder omvangrijk is dan werd aangenomen op basis van de jaarlijkse metingen. Om een volledig beeld te krijgen van de benodigde versterking voor Kijkduin heeft het Hoogheemraadschap van Delfland een zevental extra raaien gemeten. De ligging van deze raaien is weergegeven in afbeelding 6-4. Aangezien een van de raaien het hotel Atlantic doorsnijdt zijn tevens gegevens uit de bouwvergunningen gebruikt om de hoeveelheid aanwezig zand te bepalen.

De resultaten van de berekeningen voor de aanvullende 7 raaien wijzen uit dat voor 6 van deze raaien een versterking van 20 meter voldoet. Alleen voor de raai gelegen bij Hotel Atlantic is er onvoldoende zand aanwezig om voldoende veiligheid van het achterland te realiseren voor de komende 50 jaar. Uit een aanvullende analyse blijkt dat voor het midden klimaatscenario voor 50 jaar een totale verbreding van 30 meter noodzakelijk is om wel het minimaal noodzakelijke veiligheid te bereiken, de resultaten van deze analyse is weergegeven in afbeelding 6-5.



Afbeelding 6-4 : Locaties van de nieuwe metingen



Afbeelding 6-5 : resultaat berekening voor raai ter plaatse van Hotel Atlantic

Ruimtelijke inpassing versterking voor Kijkduin

De nieuwe inzichten hebben geleid tot een ontwerp dat bestaat uit een verbreding van het duin voor de huidige wandelpromenade van ca 30 meter, door het nieuwe deel van het duin en het bredere strand op elkaar af te stemmen blijft het zicht op zee behouden. Doordat gekozen wordt voor lokaal maatwerk zal de hoogte van het nieuwe duin variëren van ca 10 tot 15 m +NAP. Het strand zal een breedte krijgen van circa 170 meter waarvan ca 100 meter uit droog strand zal bestaan.

Ligging afslagcontouren bij Kijkduin

Aangezien er bij Kijkduin bebouwing aanwezig is op het duin in de afslagzone dient er tevens aandacht te zijn voor het beschermingsniveau voor deze buitendijkse bebouwing. Het voorste deel van deze zone heeft een kans op afslag van eens in de 500 jaar. In afbeelding 6-7 wordt de indicatieve ligging van de 1/500 beschermingscontour gegeven behorende bij het midden klimaatscenario voor 50 jaar (ref: kaartenatlas Alkyon, 2004).

Het uitgangspunt voor het ontwikkelen van de versterkingsalternatieven was dat dit risico op afslag niet mag toenemen. Om de risico ontwikkeling voor de komende 50 jaar in beeld te brengen zijn voor de profielen nabij Kijkduin afslagberekeningen uitgevoerd waarbij stormcondities beschouwd zijn met een kans van overschrijden van 1/10 jaar tot 1/10.000 jaar. In afbeelding 6-6 zijn de beschermingscontouren weergegeven die behoren bij de 1/500, de 1/2000 en de 1/10000 contour. Geconcludeerd wordt dat het buitendijkse beschermingsniveau toeneemt als gevolg van de versterking. Mogelijk dat voor het vaststellen van het beschermingsniveau direct na aanleg van de kustversterking nog aanvullende analyses noodzakelijk zijn voor de situatie met huidige verzwaarde randvoorwaarden.



Afbeelding 6-6 : ligging contouren voor verschillende beschermingsniveaus na versterking bij middenklimaat scenario voor 50 jaar



Afbeelding 6-7 : indicatieve ligging van de 1/500 jaar contour bij middenklimaat scenario voor 50 jaar zonder versterking (Ref: kaartenatlas Alkyon, 2004)

7 REFERENTIES

Alkyon (2000)

Visie Hollandse Kust, Kustmorfologische overwegingen, Alkyon/Arcadis, januari 2000.

Alkyon (2002)

Compensatieplannen duinnatuur MV2, Kustmorfologische ontwerprichtlijnen, A979, september 2002.

Alkyon (2003)

Toetsing duinvoetverdedigingen en aansluitingsconstructies, A1116, juli 2003

Alkyon (2004)

Rapportage over suppletiebehoefte 35 ha Duingebied Delfland, R. Steijn, 9 april 2004, A1289.

Arends S.M., van Boxel J.H., Abuodha, J.A. (2002)

Changes in grain size of sand transport over a foredune. Earth Surface Processes and Landforms, 27, 1163-1175.

Arends (2006)

Memo korrelgrootte karakteristieken en verstuiikbaarheid t.b.v. duinontwerp, Bureau voor Strand- en duinonderzoek, 29 oktober 2006.

Burger (2003)

Morphological evaluation of the Scheveningen, Katwijk and Noordwijk shoreface nourishments using UNIBEST-TC, MSc Thesis.

Delfland (1925)

Ontwerptekeningen strandhoofden Delflandse kust, 1925.

Delfland (1997)

Legger Zeewering, Hoogheemraadschap van Delfland, December 1997.

DWW (2003)

Nieuwe inzichten in golfbelasting langs de Hollandse kust - samenvatting aanvullende beherderoordelen december 2003

Hoogheemraadschap van Delfland (1990)

Bestekstekening "Hoogwaterkering langs de Noordzee"

Hoogheemraadschap Uitwaterende Sluizen (2001)

De functie van strandhoofden langs de Noord-Hollandse kust, Hoogheemraadschap van Uitwaterende Sluizen In Hollands Noorderkwartier, februari 2001.

PMR-U (2004)

Natuurcompensatie Landaanwinning: duinen een zeereep. Te hanteren principes, uitgangspunten en randvoorwaarden voor het programma van eisen; R. Goederie, augustus 2004, PMR-U.

POK (2005)

Provincie Noord-Holland en Zuid-Holland (2002)

Strategische Visie Hollandse Kust 2050. Uitgevoerd door Arcadis, Nieuwegracht & Alkyon

RIKZ (2000)

Zandverliezen in het Nederlandse kuststelsel, Advies voor Dynamische Handhaven in de 21e eeuw, J.P.M. Mulder, rapport RIKZ/2000.36, juni 2000.

RIKZ (2002)

Evaluatie Zuid-Hollandse onderwatersuppleties, Interim-rapportage, 2002, Werkdocument: RIKZ/ OS/ 2002.109x.

RIKZ (2005)

Zand suppleties database, bestandsnaam: suppleties_nederland.xls, juli 2005 (digitaal ontvangen van RIKZ).

TAW (1984)

Leidraad voor beoordeling van de veiligheid van duinen als waterkering, TAW, mei 1984.

TAW, (1995)

Basisrapport Zandige kust, behorende bij de Leidraad Zandige Kust, TAW, juli 1995.

TAW (2002)

Technisch rapport Asfalt voor Waterkeren, TAW, november 2002.

Van Rijn (1995)

Sand budget and coastline changes of the central Dutch coast between Den Helder and Hoek van Holland, period 1964-2040, project Kustgenese, WL|Delft Hydraulics, augustus 1995.

Van Rijn (1998)

Principles of Coastal Morphology, Aqua Publications, 1998.

Van der Wal, D. (1998)

The impact of the grain-size distribution of nourishment on Aeolian transport. Journal of Coastal Research, 14 (2), 620-631.



Van der Wal, D. (1999)

Aeolian transport of nourishment sand in beach-dune environments, PHD thesis, University of Amsterdam

Waterschap Zeeuws Vlaanderen (2004)

Nota begrenzingen waterkeringen (keurzones)

Witteveen & Bos en Koster engineering (2006)

Evaluatie onderwatersuppleties Noord- en Zuid- Holland, Eindrapport, Opdrachtgever Rijkswaterstaat RIKZ.

WL Delft Hydraulics en Alkyon (2006)

Effecten van verschillende scenario's van kustonderhoud - resultaten lange-termijn simulaties morfologische ontwikkeling Nederlandse Noordzeekust, mei 2006.

8 COLOFON

Opdrachtgever	: Provincie Zuid-Holland
Project	: Waterbouwrapport Delflandse kust
Dossier	: W3487-02.001
Omvang rapport	: 120 pagina's
Auteur	: Joost ter Hoeven, Marius Sokolewicz, Lisette Veeken
Bijdrage	: Clara Spoorenberg, Marco Eversdijk, Vincent Kuypers, Yttje Feddes, Jasper Fiselier, Martijn Onderwater, Kenji Tollenaar, Teunis Louters, Vincent Hombergen, Martijn Karelse, Hanco Frederikze, Odelinde Nieuwenhuis e.a.
Projectleider	: Jasper Fiselier
Projectmanager	: Teunis Louters
Datum	: 19 februari 2007

BIJLAGE 1 Uitgangspunten morfologie en veiligheid

1 Algemeen

1.1 Planperiode

Het ontwerp van de versterking van de Delflandse kust moet voldoen voor een periode van 50 jaar.

2 Morfologie

2.1 Zandtransport berekeningen

De alternatieven waarin het strand zeewaarts wordt uitgebreid zullen invloed hebben op het optredende zandtransport langs de kust. De verandering van deze transporten heeft invloed op de processen van erosie en aanzanding langs de kustlijn. Een eventuele erosieve trend in de kustontwikkeling is een belangrijk aspect in de veiligheidstoetsing. Om de veiligheid in deze secties ook in de toekomst te kunnen garanderen, dient hier onderhoud te worden gepleegd aan de kust. Uitgangspunt bij de alternatieven is dat de erosieve trend in de kustlijn wordt gecompenseerd door periodieke suppleties in het kustvak. De vereiste suppletiefrequentie is een onderdeel van het voorontwerp en noodzakelijk om een goede kosten- baten analyse te kunnen maken.

Unibest-LT

Het onderhoudsbehoefte wordt in deze studie per alternatief geschat aan de hand van globale zandtransport berekeningen met het 1D-transportmodel Unibest-LT. Wij beschouwen de volgende alternatieven: referentie, verhoogde duinen, zeewaarts verbreden, royaal zeewaarts verbreden en het voorkeursalternatief.

De kust tussen de Noorderdam en Kijkduin wordt verdeeld in 6 vakken, die een karakteristiek en redelijk uniform gedrag vertonen. Voor elk van deze gebieden wordt een berekening met het Unibest-LT model uitgevoerd, om de langtransportcapaciteit aan de rand van het vak te bepalen. Het verschil in de transportcapaciteit aan de randen van het vak geeft een benadering van de totale erosie en/of sedimentatievolume in dat vak.

De berekening wordt uitgevoerd voor een karakteristieke Jarkusraai aan de rand van het vak. Om de invloed van de ruimtelijke variabiliteit te verminderen wordt een gemiddelde raai van 3 bij elkaar liggende raaien bepaald. Vervolgens, om de invloed van de temporale variabiliteit in het dwarsprofiel te verkleinen wordt voor een tijdsgemiddeld profiel over laatste 10 jaar bepaald. Dit wordt eerst gedaan voor het referentiealternatief (=huidige situatie). Het resultaat wordt vergeleken met de zandbalansen op basis van Jarkus-profielen en suppletievolumes. Op deze manier kan het model worden bijgesteld.

Vervolgens worden de initiële profielen aangepast (verschuiving door de zeewaartse strand-uitbreiding), en de berekeningen herhaald. Op deze manier wordt de invloed van de alternatieven op de zandtransporten, en als resultaat op de erosie/sedimentatie in beeld gebracht, en een schatting van de onderhoudsbehoefte gemaakt.

Deze inschatting wordt gedaan voor de situatie over 50 jaar, met de daarbij behorende klimaatontwikkeling. Wij gaan daarbij uit van het middenscenario volgens de Leidraad Zandige Kust (0,3 m zeespiegelstijging, geen verandering van golfklimaat). Om de gevoeligheid van het resultaat te bepalen, worden dezelfde berekeningen ook voor het maximum scenario (0,45 m zeespiegelstijging, 5% toename in golfhoogte) uitgevoerd (het verschil tussen het minimum en het midden scenario voor horizon van 50 jaar, 0,2 m verschil in zeespiegelstijging, is te klein om een significant verschil in de zandtransporten te veroorzaken). De morfologische berekeningen worden uitgevoerd voor gemiddeld golfklimaat. De zeer zware stormen leveren vanwege hun korte duur een relatief kleine bijdrage aan het jaartransport, daarom worden deze buiten beschouwing gelaten. Dit geldt dus ook voor het 1/10.000 per jaar storm: dit is een zeer extreme gebeurtenis, met een kleine verwachtingswaarde (kans x gevolg).

Voor de golfcondities gaan we uit van de golfstatistiek van meetstations Goeree en Noordwijk. Deze statistiek wordt getransformeerd naar de Delflandse kust middels ruimtelijke interpolatie. In Unibest worden condities op diepwater opgelegd (ca. -20 m NAP), de transformatie naar de kust toe wordt door het model zelf berekend. Wij gaan hierbij vanuit dat voor de golfstatistiek geen extra transformatie (behalve ruimtelijke interpolatie) nodig is. De verzwaring van golfcondities (maximum scenario) wordt doorgevoerd door de klasse van golfhoogtegrenzen met 5% te verhogen. Tevens wordt de daarbijbehorende periode met 2,5% verhoogd.

In de berekeningen wordt ook informatie over de getijstroming gebruikt. Hiervoor wordt het gemiddelde astronomische getij op diep water (ca. -20 m NAP) gebruikt. De stroomsnelheden en waterstanden als functie van de tijd worden gehaald uit het 2D kuststrookmodel dat bij RIKZ is beschikbaar. In de getijberekeningen is vermoedelijk geen rekening gehouden met de zeespiegelstijging. Een stijging van de gemiddelde waterstand met enkele decimeters heeft echter op diep water nauwelijks invloed op de snelheden, daarom zullen alleen de waterstanden worden gecorrigeerd voor de gestegen zeespiegelniveau.

Benodigde informatie

- gemiddeld golfklimaat stations Noordwijk en Goeree (jaargemiddelde frequentie van voorkomen van golfhoogte, in klassen van 0,5 m);
- stroomsnelheden en waterstanden voor gemiddeld astronomisch getij, op -20 m NAP contour, aan de rand van onderscheiden kustvakken.

Unibest-CT

Uitgangspunten

- Het doorgerekende jaar loopt van 1 mei 2000 tot en met 30 april 2001.
- Aangenomen is dat modelinstellingen zoals gebruikt door Burger [2003] overgenomen kunnen worden voor de dwarstransportberekeningen aan de Delflandse kust aangezien zijn berekeningen tevens aan de Hollandse kust hebben plaatsgevonden in hetzelfde jaar.
- Aangenomen is dat de condities die in het rekenjaar hebben plaatsgevonden gemiddelde condities zijn (op basis van rapport Burger [2003]).

Modelinstellingen

In onderstaande tabel staan de modelinstellingen weergegeven zoals ingevoerd in UNIBEST TC.

Tabel 8-1 Overzicht ingevoerde parameters in UNIBEST TC

Parameter	Waarde
Golf parameters	
Gamma	0,75
Alfac	1,00
fw (friction factor bottom dissipation)	0,01
rkls (bottom roughness)	0,05
Sediment parameters	
epsb (efficiency coefficient for bottom transport)	0,1
epss (efficiency coefficient for suspended transport)	0,02
wee (sediment fall velocity)	0,03
tanf (tangent of the angle of internal friction)	0,63
dsed (50% grain diameter in m)	0,00025
rhos (sediment density in kg/m ³)	2650
por (porosity)	0,4
Run parameters	
Number of timesteps	708
Timestep in days	0,125
jclose	-1
jfr	96
ibod	1
Tdry	40
Bottom layer	1,00

Invoerparameters

In het UNIBEST TC model dienen grenscondities ingevoerd te worden en een initiële conditie. De grenscondities kunnen als een constante waarde, als tijdserie of als periodiek terugkerende waarde worden ingevoerd.

Grenscondities

Data gemeten op twee verschillende locaties zijn gebruikt als grensconditie voor de berekeningen. De meetlocaties zijn: EURO-platform in de Noordzee en de 'Meetpost Noordwijk'. De stroomsnelheden zijn niet gemeten maar zijn afkomstig uit het WAQUA model dat gebaseerd is op gemeten waterstanden en stroomsnelheden.

Golfgegevens (EURO-platform)

- De golfgegevens van het EURO-platform zijn representatief voor condities met een waterdiepte van 32 meter. De rand van het model ligt echter op NAP -15 meter. Over het traject van NAP -32 tot -15 meter zullen de golven vervormen en bijdraaien door het processen shoaling en refractie. Om een inschatting te krijgen van de grootte van de Shoalingfactor (K_s) en de Refractiefactor (K_r) is een berekening uitgevoerd met een set golfgegevens van het Europlatform. Op basis van deze uitkomst is aangenomen wordt dat $K_s * K_r = 0,9$. De H_{rms} die berekend is met de gegevens van het Europlatform wordt daarom vermenigvuldigd met 0,9.



- UNIBEST TC rekent met een eigen coördinaatsysteem (carthesisch stelsel). Hierdoor kan de golfrichting zoals gemeten bij het EURO-platform volgens het nautische stelsel niet direct worden ingevoerd in UNIBEST TC. Alle gemeten golfrichtingen zijn herberekend met de formule: "nautisch (graden)= 310° - carthesisch (graden)". Hierbij is reeds rekening gehouden met de ligging van de kustlijn ten opzichte van het noorden met een hoek van ca 40° (nautisch).
- Bij het EURO-platform zijn golfcondities (richtingen) aanwezig die bij de Delflandse kust niet mogelijk zijn. De golven zouden dan namelijk van land komen. Om deze reden zijn golfgegevens van de golven komende uit de 25° tot 235° (nautisch, oost-om) vervangen door een kleine golf met een H_{rms} van 0,20 m., een T_p van 4 sec. en een golfrichting van 310° (kustnormaal, nautisch). Gebleken is dat na deze exercitie ca 58% van de golfgegevens de originele waarde behoudt; ca 42 % van de golfgegevens komt uit een 'onmogelijke' richting en is vervangen door een kleine golf. Met deze berekening wordt een kleine fout gemaakt aangezien een deel van de golven die volgens de gegevens uit een verkeerde richting komt in werkelijkheid bij zal draaien. In werkelijkheid komt dus een groter deel van de golven die bij het EURO-platform worden gemeten bij de Delflandse kust aan.

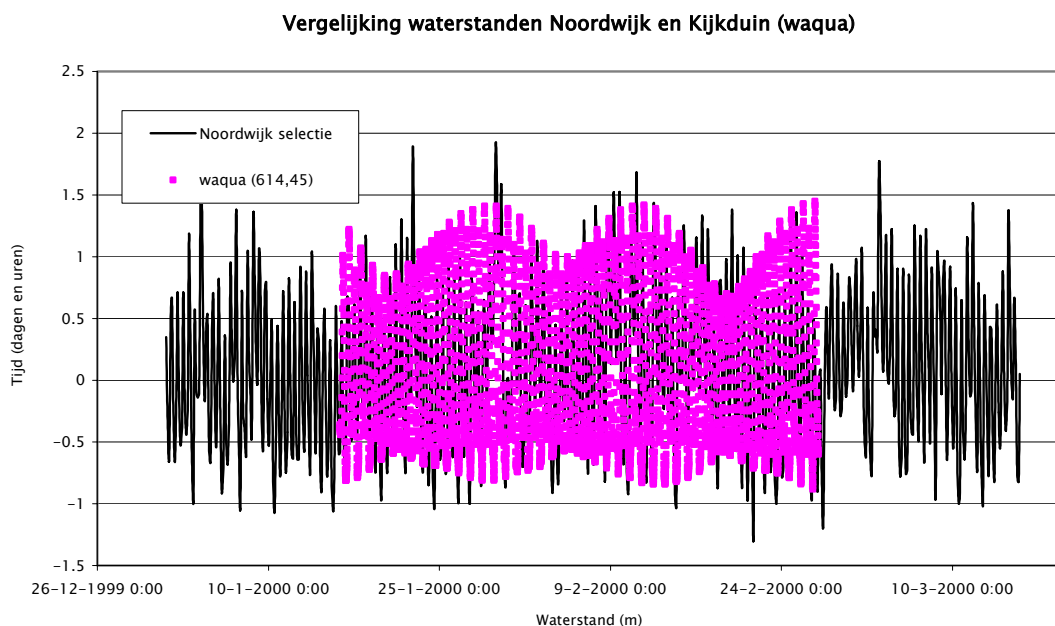
Waterstandgegevens (Meetpost Noordwijk)

- Het faseverschil van het getij tussen Noordwijk en Kijkduin/ Solleveld is dusdanig klein (ca 0,5 uur) dat niet gecorrigeerd hoeft te worden voor de optredende waterstanden. Zoals in

Tabel 8-1 namelijk zichtbaar is worden de waterstanden in het model om de drie uur ingevoerd.

Stroomsnelheden (WAQUA -model)

- De stroomsnelheden voor de kust bij Kijkduin zijn afgeleid uit een beschikbaar WAQUA model (kuststrook model). Uit dit kuststrook model is een tijdserie beschikbaar met waterstanden en bijbehorende stroomsnelheden. Geprobeerd is om de waterstanden van deze tijdserie zo synchroon mogelijk te laten lopen met de waterstanden die zijn opgetreden voor de kust van Noordwijk (zie
- Afbeelding 8-1). Het deel van de reeks waterstanden die zijn opgetreden voor de kust van Noordwijk dat het beste overeenkomt met de waterstanden uit het kuststrook model wordt gebruikt in het UNIBEST TC model (van 20-1-2000 4:00 tot 18-2-2000 13:00). Aan deze 'Noordwijk' waterstanden worden de stroomsnelheden uit het kuststrook model gekoppeld. Aangezien de gebruikte tijdserie slechts 4 weken beslaat wordt de data cyclisch herhaald in het UNIBEST TC model.



Afbeelding 8-1 Vergelijking waterstanden Noordwijk en Kijkduin

Initiële conditie

Het UNIBEST TC model heeft naast grenscondities tevens een initiële conditie nodig om de modelberekeningen uit te kunnen voeren. De initiële conditie bestaat uit het profiel van de zeebodem. Aangezien ieder jaar kustmetingen worden uitgevoerd is een JARKUS raai gebruikt als invoer voor deze initiële conditie.

Voor de validatie berekening nabij Kijkduin is een de JARKUSmeting uit 2000 gebruikt ter plaatse van RSP 106,23.

Voor de berekening ten behoeve van de ontwikkeling van onderwatersuppleties is een JARKUSmeting uit 2005 gebruikt ter plaatse van RSP 109,20.

3 Veiligheid

In onderstaande tabel is een overzicht gegeven van de gebruikte randvoorwaarden per raai bij de veiligheidsberekeningen.

Jarkus raai	Jaar van de meting	T _p (s)	H _s (m)	Rekenpeil (m+NAP)	D _{reken} (µm)
10200	1995	14.25	8.5	5.7	227
10217	1995	14.24	8.5	5.7	224
10235	1995	14.24	8.5	5.7	221
10288	1995	14.22	8.5	5.7	212
10312	1995	14.21	8.5	5.7	208
10338	1995	14.2	8.5	5.7	204
10351	1995	14.2	8.5	5.7	202
10391	1995	14.19	8.5	5.7	195
10422	1995	14.18	8.5	5.7	193
10437	1995	14.17	8.5	5.7	192
10447	1995	14.17	8.5	5.7	192
10468	1995	14.16	8.5	5.7	191
10488	1995	14.15	8.5	5.7	190
10496	1995	14.15	8.5	5.7	189
10507	1995	14.15	8.5	5.7	189
10527	1991	14.14	8.5	5.7	188
10534	1991	14.14	8.5	5.7	187
10547	1991	14.13	8.5	5.7	186
10564	1991	14.13	8.5	5.7	186
10567	1991	14.13	8.5	5.7	185
10592	1991	14.12	8.5	5.7	184
10613	1991	14.11	8.5	5.7	185
10623	1991	14.11	8.5	5.7	186
10653	1991	14.1	8.5	5.7	187
10683	1991	14.09	8.5	5.7	189
10703	1991	14.08	8.5	5.7	190
10713	1991	14.08	8.5	5.7	191
10728	1991	14.07	8.5	5.7	192
10743	1991	14.07	8.5	5.7	192
10762	1991	14.06	8.5	5.7	193
10773	1991	14.06	8.5	5.7	194
10807	1991	14.05	8.5	5.7	196
10845	1995	14.04	8.5	5.7	201
10883	1995	14.02	8.5	5.7	206
10920	1995	14.01	8.5	5.7	211
10958	1995	14	8.5	5.7	216

Jarkus raai	Jaar van de meting	T _p (s)	H _s (m)	Rekenpeil (m+NAP)	D _{reken} (μm)
10983	1995	13.99	8.5	5.7	219
10996	1995	13.98	8.5	5.7	221
11034	1998	13.97	8.4	5.65	219
11056	1998	13.96	8.4	5.65	218
11072	1998	13.96	8.4	5.65	217
11109	1998	13.95	8.4	5.65	215
11147	1998	13.93	8.4	5.65	214
11176	1998	13.92	8.4	5.65	212
11196	1998	13.92	8.4	5.65	211
11221	1998	13.91	8.4	5.65	210
11244	1998	13.9	8.4	5.65	210
11263	1998	13.9	8.4	5.65	209
11282	1998	13.89	8.4	5.65	209
11301	1998	13.88	8.4	5.65	208
11319	1998	13.88	8.4	5.65	207
11338	1998	13.87	8.4	5.65	207
11356	1998	13.86	8.4	5.65	206
11365	1998	13.86	8.4	5.65	206
11375	1998	13.86	8.4	5.65	206
11394	1998	13.85	8.4	5.65	205
11412	1998	13.85	8.4	5.65	208
11431	1998	13.84	8.4	5.65	212
11433	1998	13.84	8.4	5.65	212
11444	1998	13.84	8.4	5.65	215
11450	1998	13.83	8.4	5.65	216
11465	1998	13.83	8.4	5.65	219
11469	1998	13.83	8.4	5.65	220
11488	1992	13.82	8.4	5.65	224
11510	1992	13.81	8.4	5.65	229
11535	1992	13.81	8.4	5.65	235
11560	1992	13.8	8.4	5.65	240
11578	1992	13.79	8.4	5.65	244
11586	1992	13.79	8.4	5.65	246
11596	1992	13.78	8.4	5.65	248
11611	1992	13.78	8.4	5.65	251
11636	1990	13.77	8.4	5.65	251
11662	1990	13.76	8.4	5.65	251
11687	1990	13.75	8.4	5.65	251
11700	1990	13.75	8.4	5.6	251
11721	1990	13.74	8.4	5.6	251
11725	1990	13.74	8.4	5.6	251
11750	1990	13.73	8.4	5.6	251

Jarkus raai	Jaar van de meting	T_p (s)	H_s (m)	Rekenpeil (m+NAP)	D_{reken} (μm)
11775	1990	13.73	8.4	5.6	251
11800	1990	13.72	8.4	5.6	251
11825	1990	13.71	8.4	5.6	251

BIJLAGE 2 Achtergronden morfologische analyse

1 AANPAK MORFOLOGISCH ONDERZOEK

1.1 Inleiding

In het kader van de Planstudie is een uitgebreid morfologisch onderzoek uitgevoerd. Dit onderzoek is beknopt beschreven in hoofdstuk 3 van het hoofdrapport. In deze bijlage is het uitgevoerde onderzoek in meer detail beschreven. Voor de opzet en doel van het onderzoek wordt verwezen naar het hoofdrapport.

1.2 Gebruikte methoden

1.2.1 Analyse ontwikkeling Delflandse kust m.b.t. onderhoudsbehoefte

Van de Delflandse kust zijn Jarkus raaien beschikbaar van de periode 1965 - 2005. Deze raaien hebben een vrij sterk variërende ruimtelijk bereik (vóór 1990 werden aanzienlijk minder⁴ raaien gemeten). Ook is het meetbereik binnen een raai verschillend voor de verschillende jaren. In de meeste raaien vanaf 1990 is de zone tussen de duintop en 800 meter zeewaarts (ca. NAP - 8 m) gemeten. Deze zone, waar ook de grootste morfologische veranderingen plaatsvinden (de actieve zone), is gebruikt als basis voor deze analyse.

Voor deze raaien is het aanwezige zandvolume per strekkende meter (langs de kust) en de verandering hierin bepaald tussen de duintop en NAP -8 m. Allereerst zijn de volumes zand bepaald die per strekkende meter aanwezig zijn (voor 1970 - 2005) door de profielen in de afzonderlijke raaien te integreren. Het zandvolume in het kustvak volgt dan uit de vermenigvuldiging van het volume per strekkende meter (in een raai) met de afstand tussen de raaien, en een sommatie daarvan voor alle raaien in het kustvak. Vervolgens zijn de veranderingen in de volumes zand bepaald voor de periode 1975 - 2005 ten opzichte van 1970, en voor de periode 1992 - 2005 ten opzichte van 1990. Deze waarden zijn vergeleken met de uitgevoerde (strand)suppleties in de periode 1990 - 2003. Tenslotte is voor een aantal raaien (106,00 km, 111,00 km en 116,00 km), voor de periode 1990 - 2005, de dwarsdoorsnede van de raai gegeven om een indruk te geven van de ontwikkeling in de tijd. Aan de hand van de grafieken die zijn gemaakt zijn conclusies getrokken met betrekking tot de zandverliezen van de Delflandse kust in de huidige situatie, en in de toekomstige situatie nadat de kustversterking is uitgevoerd.

De Jarkusraaien van de periode 1965-1990 die in eerste instantie voor de analyse beschikbaar waren, zijn ingemeten met een andere meetdichtheid (1 raai per km) dan in de periode 1990 - 2005 (4 metingen per km). Tijdens de analyse van de data is gebleken dat de berekende volumes

⁴ Naderhand is gebleken dat RIKZ over een uitgebreider set van Jarkusraaien beschikt dan in eerste instantie door DHV gebruikt. Deze aanvullende informatie is gebruikt om de eerdere bevindingen te controleren en verder te onderbouwen.



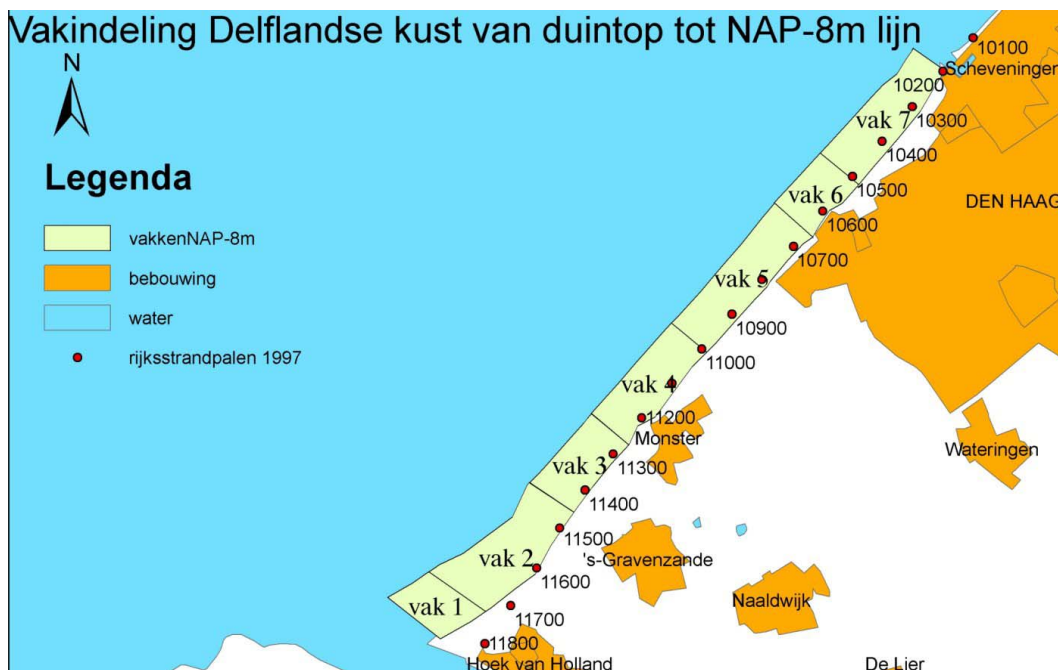
en volumeveranderingen van het zand voor de periode 1970 - 1990 behoorlijk afwijken van dezelfde grootheden na 1990. Dit is te verklaren door de grovere meetdichtheid van de raaien. Om deze reden is een analyse gemaakt voor de volumes en volumeveranderingen van het zand voor de periode 1990 - 2005 die wel een consistent beeld geven. De naderhand door RIKZ beschikbaar gestelde volledige set van Jarkusraaien is gebruikt voor controle en nadere onderbouwing van de conclusies.

De kubering van de raaien is uitgevoerd middels een computerprogramma en een nabewerking in Excel. Als controle van de resultaten zijn de Jarkusraaien van de jaren 1990 en 2005 geïnterpoleerd in het GIS en is het verschil van zandvolume in de afslagzone bepaald. De resultaten van beide methoden bleken heel goed met elkaar overeen te komen (verschil van maximaal 2%) waarmee de betrouwbaarheid van de methode is aangetoond. Middels dezelfde methode is ook de volumeontwikkeling in een aantal kustvakken in de zone NAP -8m tot NAP -5m, en landwaarts van NAP -5m bepaald, en de relatie tussen de veranderingen en de uitgevoerde suppleties bepaald. Daartoe is de Delflandse kust in 7 vakken opgedeeld (zie Afbeelding 3-2) aan de hand van suppletievakken en het algemeen beeld van aanzanding/ erosie, gevonden in de bovenbeschreven analyse.

De gehanteerde methode wijkt bewust af van de door het RIKZ gehanteerde methode voor het bepalen van de suppletiebehoefte op zowel tijdschaal als ruimteschaal.

De voorspelling van de BKL suppleties door het RIKZ vindt plaats door ieder jaar de geëxtrapoleerde TKL (te Toetsen Kust Lijn) aan de ligging van de vastgestelde norm BKL (Basis Kust Lijn) te toetsen. De TKL is een geëxtrapoleerde kustlijn naar 1 januari van het volgende jaar op basis van de ligging van de MKL (Momentane Kust Lijn) van de afgelopen 10 jaren. Op basis van deze uitkomst besluit het RIKZ of het komende jaar een suppletie nodig is.

De 10-jarige periode wordt te kort geacht, aangezien de planperiode een langere termijn bedraagt van 50 jaar bedraagt. Daarom is er voor gekozen om beschikbare meetgegevens over een langere periode (vanaf 1965) te gebruiken. Gebruik van een langere tijdschaal vereist het gebruik van een grotere ruimteschaal zodat de fluctuaties die op de lange tijdschaal optreden goed zichtbaar zijn.



Afbeelding 1-1: Vakindeling analyse zandbudget Delflandse kust

1.2.2 Berekeningen kustlangs sedimenttransport

De bepaalde verandering van zandvolumes in de 7-tal kustvakken is gebruikt bij het berekenen van het kustlangs sediment transport. Door van de berekende (bruto) volumeverandering het jaargemiddelde volume van zandsuppleties af te trekken is de netto verandering (autonome erosie of aanzanding) bepaald. Deze netto zandvolumes zijn gebruikt om het morfologisch model te kalibreren.

De analyse van de invloed van ontwerpalternatieven op het kustgedrag en daarmee op de onderhoudsbehoefte is gebaseerd op berekeningen met het 1D-kustlijnmodel Unibest CL+ versie 6.0. Dit model berekent de kustontwikkeling op basis van berekende kustlangs zandtransporten in combinatie met de kustoriëntatie. Het model is *globaal* gecalibreerd op de gemiddelde zandvolume verandering. Hiervoor is gekozen in plaats van gebruikelijke calibratie op de waargenomen historische kustlijnverandering vanwege het globale karakter van het onderzoek binnen het MER. Een uitvoerige calibratie valt buiten het kader van dit project. De verkregen resultaten zijn voldoende nauwkeurig om de alternatieven onderling te vergelijken en om een schatting van verandering van onderhoudsbehoefte af te geven.

Het Unibest-CL+ model bestaat uit twee delen:

1. Unibest-LT waarmee het langstransport voor het opgegeven dwarsprofiel, golfklimaat en stroming voor afzonderlijke raaien wordt berekend;
2. Unibest-CL waarmee de kustlijn verandering wordt berekend; dit gebeurt aan de hand van de langstransporten in afzonderlijke raaien langs de kust (berekend met een reeks berekeningen met Unibest-LT), en de geografische ligging van de kustlijn.

Voor de invoer van het model is de volgende informatie gebruikt:

- **dwarsprofielen:** er is een zevental Jarkusprofielen geselecteerd, ongeveer in het midden van elk vak; om de invloed van de temporale variabiliteit mee te nemen zijn gemiddelde profielen samengesteld van de jaren 2003, 2004 en 2005;
- **golfklimaat:** gebruik is gemaakt van de golfrozen uit Alkyon [2002]; deze golfrozen zijn gebaseerd op berekeningen met het golfmodel HISWA waarmee diepzee golfklimaat naar de rand van de actieve zone (NAP -7,5 m contour) is getransformeerd;
- **stromingen:** de grootte van getijstroomsnelheden langs de rand van de actieve zone is bepaald op basis van resultaten van het Waqua kuststrookmodel die door RIKZ zijn aangeleverd;
- **kustlijn:** ligging van de kustlijn in RD- coördinaten in de huidige situatie is gebaseerd op de ligging van de GLW -lijn; ligging van de kustlijn in de alternatieven is gebaseerd op de ontwerpen.

De bovengenoemde getij- en golfrandvoorwaarden hebben betrekking op de huidige situatie. Het MER dient echter een doorkijk naar de toekomst (50 jaar horizon) te geven. Daarom zijn de berekeningen voor de alternatieven uitgevoerd voor het middenscenario (30 cm zeespiegelstijging in 50 jaar, golfrandvoorwaarden niet veranderd). Tevens is de gevoeligheid van het resultaat getoetst voor het maximum scenario (45 cm zeespiegelstijging in 50 jaar, 5% toename golfhoogte).

Naast de kustlijnverandering berekent het model de hoeveelheden zand die langs de kust eroderen of worden afgezet. De erosiehoeveelheden zijn een maat voor de onderhoudsbehoefte van de kust. Daarbij wordt opgemerkt dat de erosie vanwege gradiënten in het langstransport slechts één van de processen is die de onderhoudsbehoefte bepalen; het verlies naar diep water door de dwarstransporten speelt ook een grote rol, en dit proces wordt niet meegenomen in Unibest-CL+. Om hierin inzicht te krijgen zijn berekeningen uitgevoerd met het dwarstransport model UNIBEST-TC (zie volgende paragraaf).

1.2.3 Berekeningen dwars sedimenttransport

Dwarstransportberekeningen die inzicht dienen te geven in mogelijke zandverliezen en de effectiviteit van de aanlegmethode zijn uitgevoerd met het UNIBEST TC model.

Verschillende stappen zijn ondernomen om de vragen te beantwoorden:

- Verzamelen van golfgegevens en waterstandsgegevens en deze bewerken tot bruikbare data als invoer voor het UNIBEST TC model (zie bijlage 1).
- Het uitvoeren van een dwarstransportberekening op Jarkusraai 106,23 uit 2000 nabij Kijkduin gedurende een jaar. Met de gemeten Jarkusraai van 2001 is het mogelijk te kwantificeren hoe goed het gebruikte model de morfologische ontwikkelingen in het gebied voorspelt. Hierbij zijn hydrodynamische gegevens uit het betreffende jaar gebruikt (zie bijlage 1).
- Het uitvoeren van dwarstransportberekeningen op Jarkusraai 109,20 uit 2005 nabij Solleveld gedurende 4 jaar. De tussentijdse uitvoer van de profielen laat de ontwikkeling van de onderwatersuppletie in de tijd zien.
- Het inzichtelijk maken van verliezen naar dieper water door middel van het analyseren van sedimenttransporten op verschillende locaties in de tijd.

- Het uitvoeren van volumeberekeningen op de 'jaarprofielen' zodat inzicht wordt verkregen in de locatie waar de grootste volumeveranderingen optreden. (N.B.: Het model UNIBEST-TC voorspelt bijna altijd een onjuiste forse toename van de zandhoeveelheid op het strand).

De dwarstransportberekeningen die inzicht dienen te geven in de morfologische ontwikkeling van de Delflandse kust worden uitgevoerd met het UNIBEST TC model. Door Burger [2003] is een morfologische evaluatie uitgevoerd van onderwatersuppleties langs de Hollandse kust met behulp van het UNIBEST TC model. Aangezien het kalibreren en valideren van een dergelijk model een tijdrovende zaak is, is het wenselijk om een jaar en een locatie te kiezen voor het uitvoeren van een controleberekening waarbij de modelinstellingen van Burger [2003] kunnen worden overgenomen.

Burger [2003] heeft de periode van maart 2000 tot juni 2001 met het model doorerekend voor drie verschillende locaties. Voor de Jarkusraai die gebruikt is voor het uitvoeren van een controleberekening van het dwarstransport is een locatie gekozen die in deze tijdsperiode zo min mogelijk beïnvloed is door uitgevoerde suppleties.

De modelinstellingen, gebruikte invoerparameters en uitgangspunten van de berekening staan weergegeven in bijlage 1.

2 ONDERHOUDSBEHOEFTE DELFLANDSE KUST

2.1 Huidig beleid zandsuppleties

Om de kustlijn te handhaven en de veiligheid van de duinen als waterkering te waarborgen voert Rijkswaterstaat een suppletieprogramma uit. In het verleden zijn de meeste suppleties in de vorm van strandsuppleties uitgevoerd (zie Tabel 2-1 tot en met Tabel 2-4). Het huidige beleid is dat de kustlijnhandhaving zo veel mogelijk wordt uitgevoerd met onderwatersuppleties. Bij deze suppleties wordt het zand globaal tussen de NAP -8 meter en NAP -5 meter contourlijnen aangebracht (zie Tabel 2-2 en Tabel 2-3).

Er zijn 3 vakken waar regelmatig wordt gesuppleerd:

- RSP 117,5-118,7: Van Dixhoorndriehoek bij Hoek van Holland (compensatie effecten van de Noorderdam);
- RSP 112,2 - 114,9: Ter Heijde;
- RSP 106,2 - 113,2: Kijkduin - Ter Heijde.

Tussen 1971 en 1990 is 22,2 Mm³ zand gesuppleerd (waaronder 18,9 Mm³ in 1971-1972), en tussen 1990 en 2005 is in totaal 13,2 Mm³ gesuppleerd.

Kustvak	Locatie	Jaar		Doelstelling	Raai		Lengte suppletie [m]	Totaal volume [m³]	Volume per meter [m³/m]	Type suppletie
		Begin	Eind		Begin	Eind				
Delfland	Hoek van Holland	1993	1993	kustlijnhandhaving	114	118.75	4750	463,000	97.5	strandsuppletie
Delfland	Hoek van Holland	2000	2000	kustlijnhandhaving	117.5	118.5	1000	200,000	200.0	strandsuppletie
Delfland	Hoek van Holland	2003	2003	kustlijnhandhaving	117.5	118.5	1000	213,606	213.6	strandsuppletie
Delfland	Hoek van Holland	2004	2004	kustlijnhandhaving	117.5	118.5	1000	230,000	230.0	strandsuppletie
Delfland	Hoek van Holland	1990	1990	recreatie	117.75	118.75	1000	183,000	183.0	strandsuppletie
Delfland	Hoek van Holland	1991	1991	kustlijnhandhaving	117.75	118.75	1000	223,000	223.0	strandsuppletie
Delfland	Hoek van Holland	1992	1992	kustlijnhandhaving	117.75	118.75	1000	560,000	560.0	strandsuppletie
Delfland	Hoek van Holland	1994	1994	kustlijnhandhaving	117.75	118.75	1000	200,000	200.0	strandsuppletie
Delfland	Hoek van Holland	1995	1995	kustlijnhandhaving	117.75	118.75	1000	200,000	200.0	strandsuppletie
Delfland	Hoek van Holland	1996	1996	kustlijnhandhaving	117.75	118.75	1000	200,000	200.0	strandsuppletie
Delfland	Hoek van Holland	1997	1997	kustlijnhandhaving	117.75	118.75	1000	200,000	200.0	strandsuppletie
Delfland	Hoek van Holland	1999	1999	kustlijnhandhaving	117.75	118.5	750	200,680	267.6	strandsuppletie
totaal suppleties 1990-2005								3,073,286		
gemiddelde suppletie per jaar								204,886		

Tabel 2-1: Suppleties raai 114,00 - 118,75 km (na 1990) [bron: zand suppleties database, RIKZ 2005]

Kustvak	Locatie	Jaar		Doelstelling	Raai		Lengte suppletie [m]	Totaal volume [m³]	Volume per meter [m³/m]	Type suppletie
		Begin	Eind		Begin	Eind				
Delfland	Ter Heijde	1995	1995	kustlijnhandhaving	112.21	114.5	2290	300,000	131.0	strandsuppletie
Delfland	Ter Heijde	1997	1997	kustlijnhandhaving	113.15	114.85	1700	1,028,950	605.3	onderwatersuppletie
totaal suppleties 1990-2005								1,328,950		
gemiddelde suppletie per jaar								88,597		

Tabel 2-2: Suppleties raai 112,20 - 114,90 km (na 1990) [bron: zand suppleties database, RIKZ 2005]

Kustvak	Locatie	Jaar		Doelstelling	Raai		Lengte suppletie [m]	Totaal volume [m³]	Volume per meter [m³/m]	Type suppletie
		Begin	Eind		Begin	Eind				
Delfland	Kijkduin-Ter Heijde	2001	2001	kustlijnhandhaving	107.4	112.5	5100	3,581,899	702.3	onderwatersuppletie
Delfland	Kijkduin-Ter Heijde	2001	2001	kustlijnhandhaving	108	112	4000	801,178	200.3	strandsuppletie
Delfland	Ter Heijde	1993	1993	kustlijnhandhaving	106.23	112.21	5980	1,143,000	191.1	strandsuppletie
Delfland	Ter Heijde	1997	1997	kustlijnhandhaving	107.5	112.5	5000	834,000	166.8	strandsuppletie
Delfland	Ter Heijde	2003	2003	kustlijnhandhaving/veiligheid	107.73	113.19	5460	1,252,797	229.5	strandsuppletie
Delfland	Ter Heijde	2004	2004	veiligheid	107.73	113.19	5460	1,150,000	210.6	strandsuppletie
totaal suppleties 1990-2005								8,762,874		
gemiddelde suppletie per jaar								584,192		

Tabel 2-3: Suppleties raai 106,20 - 113,20 km (na 1990) [bron: zand suppleties database, RIKZ, 2005]

Kustvak	Locatie	Jaar		Doelstelling	Raai		Lengte suppletie [m]	Totaal volume [m³]	Volume per meter [m³/m]	Type suppletie
		Begin	Eind		Begin	Eind				
Delfland	Kijkduin-Ter Heijde	1986	1986	veiligheid	107.73	115.61	7880	1,900,000	241.1	strandsuppletie
Delfland	Kijkduin-Ter Heijde	1986	1986	veiligheid	107.73	115.61	7880	-1,300,000	165.0	landw.duinverzw. *)
Delfland	Hoek van Holland	1971	1972	zandberging en recreatie	115.7	118.75	3050	18,940,000	6209.8	strandsuppletie
Delfland	Hoek van Holland	1976	1976	recreatie	115.7	119	3300	1,500,000	454.5	strandsuppletie
Delfland	Hoek van Holland	1977	1977	recreatie	115.7	118.75	3050	870,000	285.2	strandsuppletie
Delfland	Hoek van Holland	1988	1988	recreatie	118	118.5	500	200,000	400.0	strandsuppletie
Delfland	Hoek van Holland	1989	1989	recreatie	118	118.5	500	100,000	200.0	strandsuppletie
totaal suppleties 1970-1990								22,210,000		
gemiddelde suppletie per jaar								1,110,500		

*) strandsuppletie na ontzitting naar binnenduinen in 1987

Tabel 2-4: Suppleties raai 107,70 - 118,75 km (voor 1990) [bron: zand suppleties database, RIKZ, 2005]

De suppletievolumes uit de bovenstaande tabellen zijn in de vervolgparagrafen gebruikt bij de bepaling van de onderhoudsbehoefte van de Delflandse kust.

In een rapport van RIKZ (2002) is het effect van onderwatersuppleties bij Ter Heijde bestudeerd. Hierin wordt geconcludeerd dat:

- de effectiviteit van deze suppleties ca. 20% bedraagt, d.w.z. 20% van de onderwater-suppletie komt in het MKL-rekenshijf terecht, en zorgt voor de zeewaartse verschuiving van de MKL en daarbij behorende toename kustprofiel;
- de levensduur van onderwatersuppleties meer dan 5 jaar is;

- binnen enkele maanden er een zandbank ontstaat die zich landwaarts verplaatst;
- de strandbreedte nauwelijks verandert.

Effecten van suppleties langs de Delflandse kust zijn ook door Alkyon (2002) beschouwd. Zij concluderen dat:

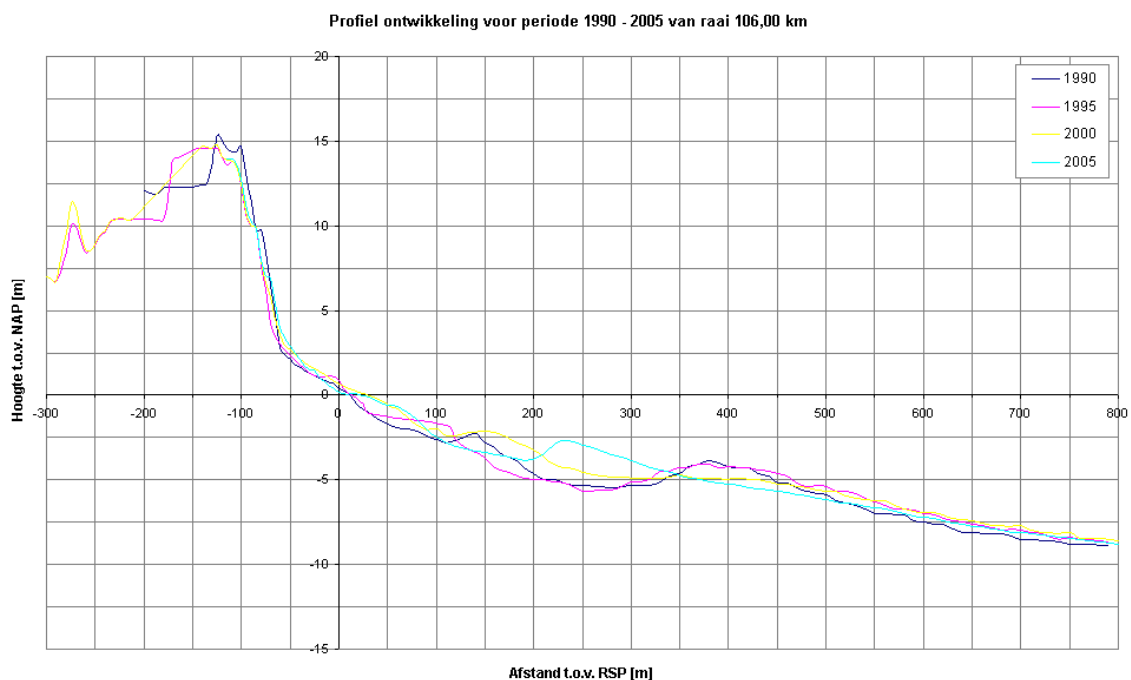
- Doordat het volume opgespoten zand bij Van Dixhoorndriehoek groter is dan de transportcapaciteit, draagt het niet alleen bij aan het langstransport, maar ook aan de volumevergroting van de Van Dixhoorndriehoek zelf;
- Noordwaarts van de Noorderdam neemt de transportcapaciteit geleidelijk af. Dit betekent dat het zand dat bij de Van Dixhoorndriehoek gesuppleerd wordt eigenlijk alleen ten goede komt aan de kustlijnsectie tot ongeveer 2 tot 3 kilometer ten noorden van de Noorderdam.

In de volgende paragrafen wordt de kustontwikkeling in relatie tot uitgevoerde suppleties geanalyseerd.

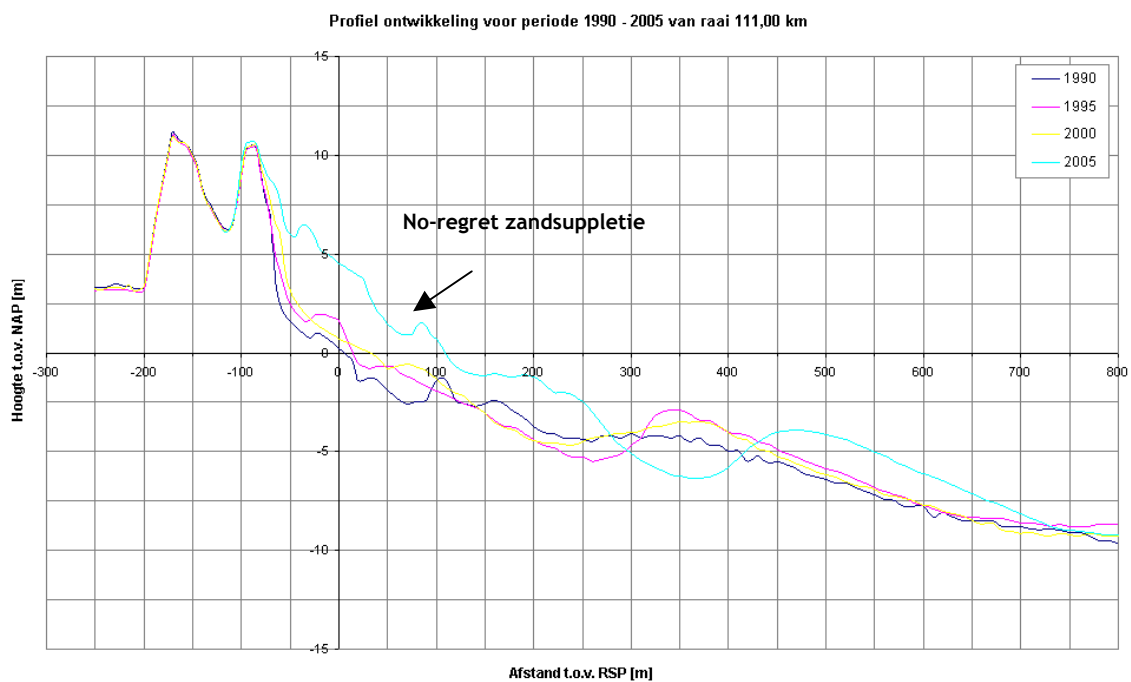
2.2 Profielontwikkeling

In Afbeelding 2-1 tot en met Afbeelding 2-3 is de profielontwikkeling gegeven voor drie raaien (106,00 km, 111,00 km en 116,00 km), voor de periode 1990 - 2005. Uit de figuren kunnen de volgende conclusies worden getrokken:

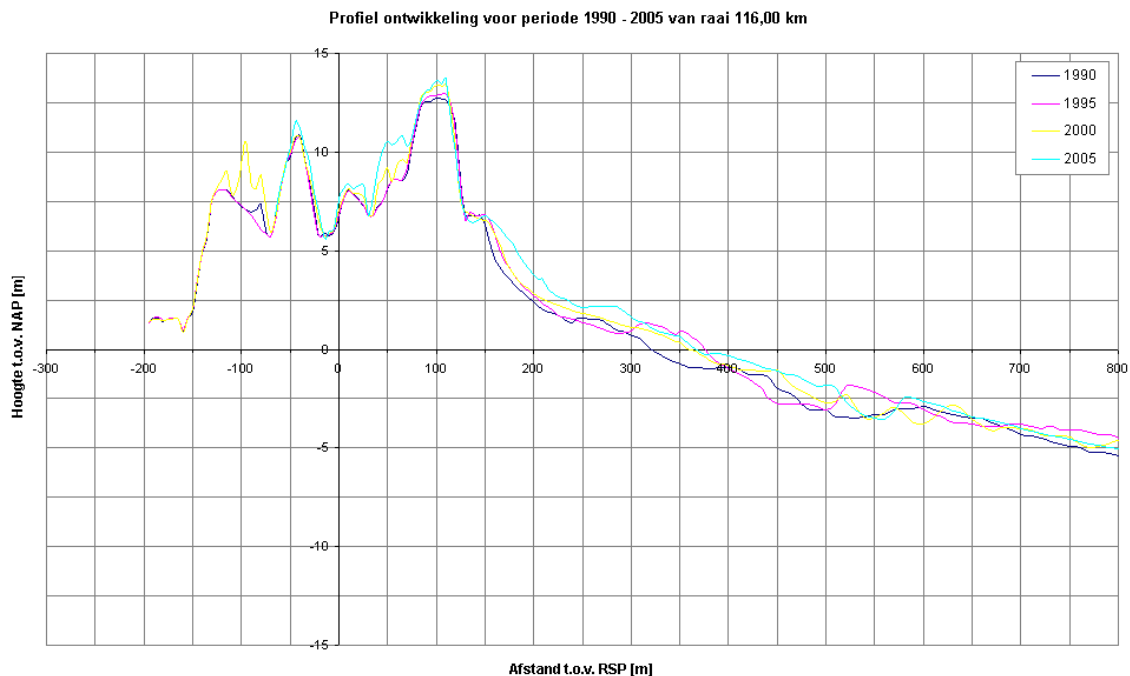
- In de raai 106,00 km is tussen 2000 en 2005 een zandbank in het profiel verschenen (Afbeelding 2-1). Er zijn hier geen suppleties uitgevoerd, deze zandbank is toe te schrijven naar de laterale verspreiding van de onderwatersuppletie die ten zuiden van raai 107,40 km in 2001 is uitgevoerd (zie Tabel 2-3).
- Het effect van de onderwateroeversuppleties kan worden afgelezen in raai 111,00 km (zie Afbeelding 2-2). De onderwateroeversuppletie heeft plaatsgevonden in 2001, tussen NAP - 7 m en NAP -5 m, en in het dwarsprofiel van 2005 is duidelijk de toename aan zand waar te nemen tussen NAP -3 m en NAP -8 m; de profielaangroei wordt tevens veroorzaakt door de strandsuppletie bij Ter Heijde in 2003/2004.
- In de periode 2000 - 2005 is er in raai 116,00 km (zie Afbeelding 2-3) een grote toename van de hoeveelheid zand waarneembaar tussen NAP + 5 m en NAP -5 m. Zoals in Tabel 2-1 is te zien hebben er in de periode 2000 - 2005 grote suppleties plaatsgevonden in dit gebied.



Afbeelding 2-1: Profielontwikkeling voor periode 1990 - 2000 voor raai 106,00 km



Afbeelding 2-2: Profielontwikkeling voor periode 1990 - 2000 voor raai 111,00 km



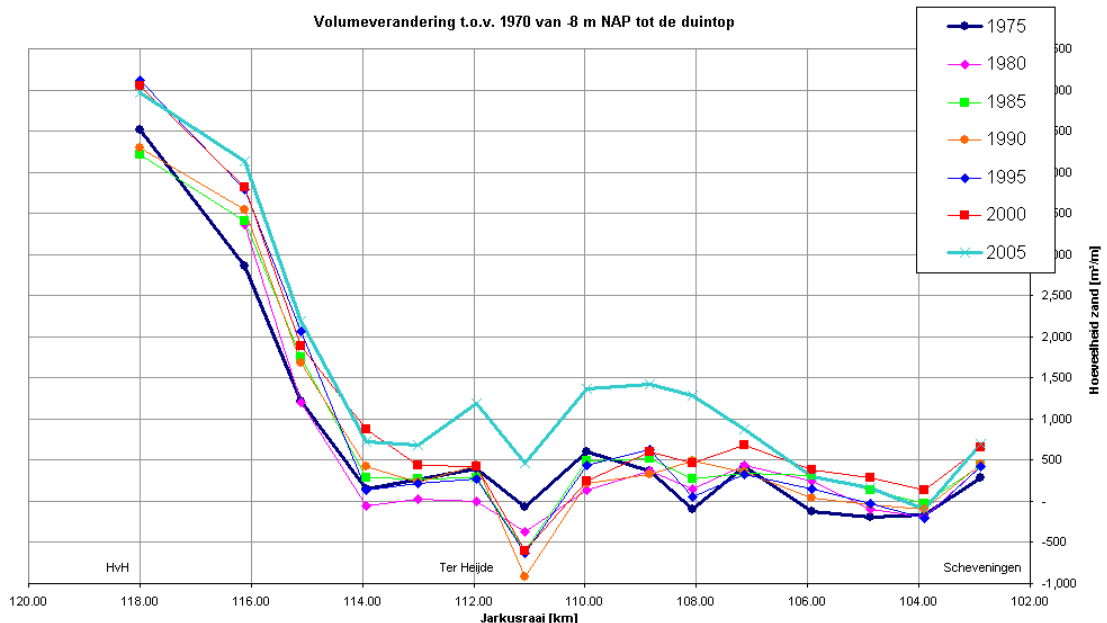
Afbeelding 2-3: Profielontwikkeling voor periode 1990 - 2000 voor raai 116,00 km

2.3 Zandbalans en onderhoudsbehoefte

Methode I : kubering Jarkusraaien

Volumeverandering 1970-2005

De beschikbare Jarkusraaien beslaan een periode van 35 jaar (1970-2005). Vanwege grote verschillen in de raaidichtheid (vóór 1990 elke kilometer, daarna elke 250 m) is de bepaling van de totale zandvolumes in het kustprofiel vóór 1990 te onnauwkeurig, de verandering van volume langs de raaien zelf is echter wel goed te vergelijken. In Afbeelding 2-4 is een overzicht gegeven van de aanwezige volumes zand (per strekkende meter) voor de periode 1970 - 2005 ten opzichte van de aanwezige hoeveelheid zand, in 1970. Er zijn grote verschillen in de raaidichtheid in verschillende jaren.



Afbeelding 2-4: Volumes zand t.o.v. 1970 van -8 m NAP tot de duintop voor de periode 1990 - 2005

Uit deze figuur kunnen de volgende conclusies worden getrokken:

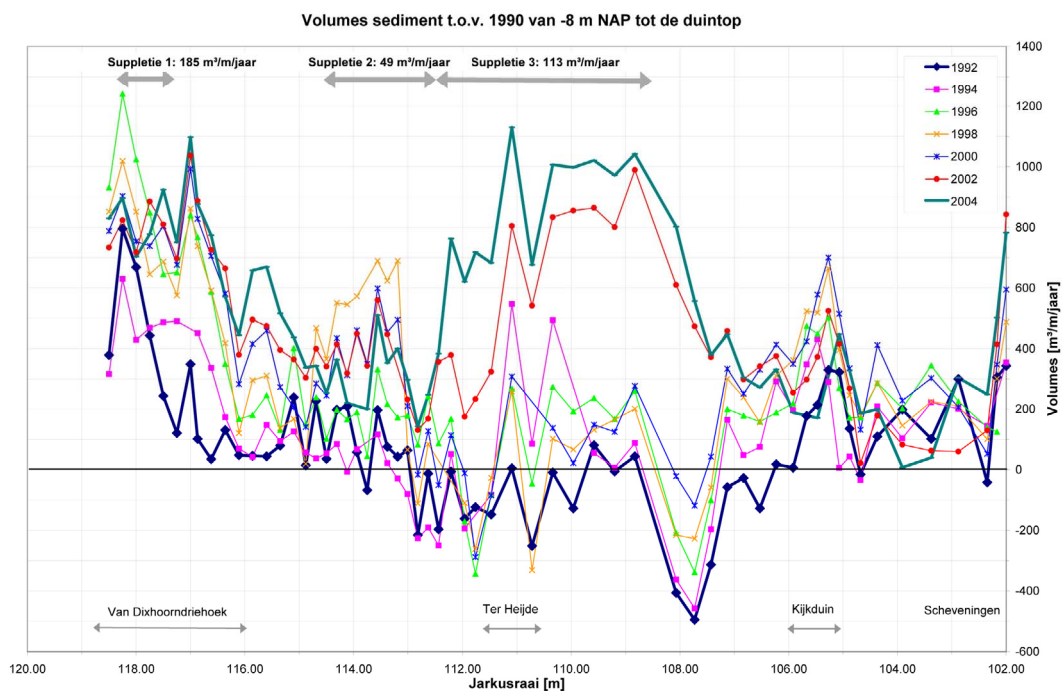
- In 1971 is de Van Dixhoorndriehoek aangelegd middels een zeer grote ($18,4 \text{ Mm}^3$) suppletie; dit is in de figuur duidelijk zichtbaar als een enorme piek ($4.500 \text{ Mm}^3/\text{m}$); na aanvankelijke afname is sinds 1985 een geleidelijke toename van volume zichtbaar; na 1995 is het zandvolume stabiel, de optredende erosie als gevolg van onderbreking langstransport door de Noorderdam wordt volledig (meer dan) gecompenseerd middels het uitvoeren van suppleties.
- T.h.v. raai 111,00 km is grote afname van hoeveelheid zand zichtbaar tot 1990, waarna geleidelijk het tekort is aangevuld. In de periode 2000 - 2005 is nogmaals de hoeveelheid zand verhoogd (zie tabel 3); inmiddels ligt er $500 \text{ m}^3/\text{m}$ meer zand dan in 1970.
- Tussen de raaien 107,00 - 113,00 km is in de periode 2000 - 2005 een grote hoeveelheid zand gesuppleerd; er ligt nu $1000 - 1500 \text{ m}^3/\text{m}$ meer zand voor de kust dan in 1970;
- Tussen de raaien 103,00 - 106,00, en dan met name ter hoogte van raai 104,00 km is de hoeveelheid zand in 2005 kleiner ($200 \text{ m}^3/\text{m}$) dan de aanwezige hoeveelheid in 1970. Tussen de deze raaien is in de periode 2000 - 2005 een afname te zien van de hoeveelheid zand. Als gevolg van de afname van de hoeveelheid zand in deze raai heeft hier versteiling van de vooroever plaatsgevonden.

Volumeverandering 1990-2005

Vanaf 1990 zijn meer gegevens (raaidichtheid langs de kust verhoogd naar 250 m) beschikbaar voor de analyse. In Afbeelding 2-5 is een overzicht gegeven van de aanwezige volumes zand voor de periode 1990 - 2004 (in stappen van 2 jaar) ten opzichte van de aanwezige hoeveelheid zand, in 1990. Uit deze figuur kunnen de volgende conclusies worden getrokken:

- Tussen de raaien 107,00 - 113,00 km in de periode 2000 - 2005 is een grote hoeveelheid zand gesuppleerd. In Tabel 2-3 is te zien dat in 2002 en 2004 grote suppleties in dit gebied hebben plaatsgevonden; dit resulteert in een forse toename van volume; er ligt nu circa $1000 \text{ m}^3/\text{m}$ meer zand dan in 1990.
- Ter hoogte van raai 108,00 km heeft in de periode 1990 - 1992 sterke erosie plaatsgevonden waarna in de periode 1992 - 2002 het weggeslagen zand stapsgewijs is aangevuld door het regelmatig suppleren (zie Tabel 2-3, in 1993, 1997 en 2001) van het gebied tussen de raaien 107,00 - 112,00 km;
- Tussen de raaien 115,00 - 118,50 km vindt in de periode (1990 - 2004) een constante toename van zandvolume plaats. Dit is te verklaren door de jaarlijkse suppleties in dit gebied (zie Tabel 2-1);
- Tussen de raaien 113,00 - 115,00 km (Van Dixhoordriehoek) is een sterke toename van de hoeveelheid zand waarneembaar in de periode 1994 - 1998. Dit is te verklaren door de uitgevoerde suppleties in dit gebied (zie Tabel 2-2). Vanaf 2000 blijft de hoeveelheid zand dat blijft liggen nagenoeg constant, de suppleties zijn afgestemd op de optredende erosie.

Opmerking: De bovenbeschreven gedetailleerde analyse op basis van kubering van afzonderlijke Jarkusraaien bestrijkt de periode 1990-2004. Verderop in deze paragraaf is een andere (minder bewerkelijke) methode beschreven, waarbij middels bewerkingen in GIS de volumeverandering in de 7 onderscheiden vakken is bepaald.



Afbeelding 2-5: Volumes zand t.o.v. 1990 van -8 m NAP tot de duintop voor de periode 1990 - 2004

De voornaamste vragen die in deze analyse beantwoord moeten worden zijn: hoe groot zijn de zandverliezen van de Delflandse kust, en wat gebeurt er met het zand dat wordt opgespoten. Om daar antwoord op te geven is een vergelijking gemaakt tussen de volumeverandering t.o.v. 1990 in de periode 1990 - 2005 en de toegepaste suppleties in deze periode. Deze vergelijking is

grafisch weergegeven in Afbeelding 3-3, en de belangrijkste numerieke resultaten zijn gepresenteerd in Tabel 2-5. Een vergelijkbare analyse is tevens uitgevoerd voor de periode 1975-1990 (na de aanleg van de Van Dixhoorndriehoek in 1970). De resultaten daarvan zijn ook opgenomen in Tabel 2-5.

Periode	Netto volumeverandering	Volumeverandering / jaar
periode 1975-1990		
volumeverandering	1,15 Mm ³	0,08 Mm ³ /jaar
suppleties	3,30 Mm ³	0,22 Mm ³ /jaar
verschil	-2,15 Mm ³	-0,14 Mm ³ /jaar (65% gesuppleerd zand)
periode 1990-2005		
volumeverandering	9,94 Mm ³	0,66 Mm ³ /jaar
suppleties	13,17 Mm ³	0,88 Mm ³ /jaar
verschil	-3,22 Mm ³	-0,21 Mm ³ /jaar (24%)
periode 1990-2000		
volumeverandering	4,75 Mm ³	0,47 Mm ³ /jaar
suppleties	5,94 Mm ³	0,59 Mm ³ /jaar
verschil	-1,19 Mm ³	-0,12 Mm ³ /jaar (20%)
periode 2000-2005		
volumeverandering	5,19 Mm ³	1,04 Mm ³ /jaar
suppleties	7,63 Mm ³	1,53 Mm ³ /jaar
verschil	-2,44 Mm ³	-0,49 Mm ³ /jaar (32%)

Tabel 2-5: Volumeverandering in de zone tussen NAP -8m en duintop en zandsuppleties voor verschillende periodes.

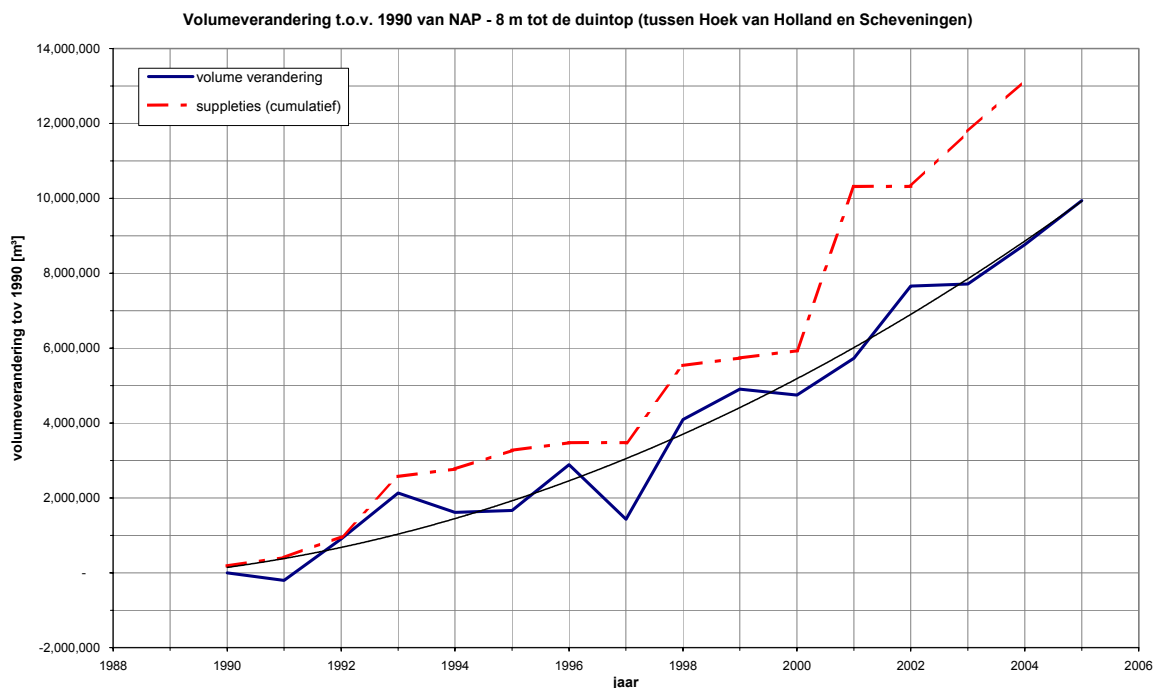
Uit Tabel 2-5 en Afbeelding 2-5 kunnen de volgende conclusies worden getrokken:

- De gemiddelde toename van zandvolume in de periode 1975-1990, direct na de aanleg van de Van Dixhoorndriehoek, bedraagt 0,08 Mm³/jaar; in deze periode is 0,22 Mm³/jaar gesuppleerd, de netto verliezen bedragen dus ca. 0,14 Mm³/jaar. Hierbij wordt opgemerkt dat er in 1987 een grote suppletie van 1,9 Mm³/jaar tussen Ter Heijde en Kijkduin is uitgevoerd, waarvan 1,3 Mm³/jaar vervolgens naar de binnenduinen is verplaatst. Dit introduceert een vrij grote onzekerheid m.b.t. het suppletievolume dat in deze analyse moet worden gebruikt omdat het onduidelijk is welk volume in de kuberingsvakken is overgebleven (aangenomen: 1,9 - 1,6 = 0,3 Mm³/jaar). Tevens heeft zich in deze periode een nieuw evenwicht moeten instellen na de aanleg van de Van Dixhoorndriehoek, waardoor de gevonden waarden mogelijk een vertekend beeld geven van de verliezen in de evenwichtssituatie.
- De gemiddelde toename van zandvolume over de periode 1990-2005 bedraagt ca. 0,66 Mm³/jaar;
- In Afbeelding 2-6 zijn duidelijk twee verschillende periodes te onderscheiden. Tussen 1994 en 2001 zien we een redelijk constant verschil tussen het aangebrachte volume zand en het aanwezige volume in de ondiepe vooroever zone (boven NAP -8m) . In 2001 is een

omvangrijke ($3,1 \text{ Mm}^3$) onderwatersuppletie uitgevoerd. Hierdoor is een versnelde toename van volume in de periode na 2001 te zien. Het verschil in de gemiddelde aangroeisnelheid vóór en na 2001 bedraagt ruim 50% ($0,49 \text{ Mm}^3/\text{jaar}$ vs. $1,06 \text{ Mm}^3/\text{jaar}$).

- De toegenomen suppleties vanaf 2001 leiden tot meer zandverlies. Gemiddeld over de periode 1990-2005 bedragen deze verliezen 24%, maar na 2000 stijgen de verliezen tot 32% van het aangebrachte zand. Dit is te verklaren door de reeds genoemde, relatief grotere bijdrage van onderwatersuppleties in deze periode waarbij grotere verliezen optreden (in 2001 is $3,6 \text{ Mm}^3$ zand bij Ter Heijde als onderwatersuppletie aangebracht, dit is duidelijk zichtbaar in Afbeelding 2-6). Opgemerkt wordt dat de grootte van verliezen afhankelijk is van de suppletieomvang (grootte van de verstoring van het natuurlijke systeem). De suppletie van $3,6 \text{ Mm}^3$ binnen één jaar en op een relatief kort traject heeft een grote verstoring van het systeem teweeggebracht. Bij een kleinere suppletie zal naar verwachting het percentage verlies naar diepwater kleiner zijn.
- De verliezen in het aangebrachte zand zijn een maat voor de suppletiebehoefte van de kust.
- Uit de gemiddelde zandverliezen die in Tabel 2-5 zijn opgesomd volgt dat de zandverliezen door erosie gemiddeld over de afgelopen 15 jaar $0,2 \text{ Mm}^3/\text{jaar}$ bedragen, en gemiddeld over de afgelopen 5 jaar $0,5 \text{ Mm}^3/\text{jaar}$. Uit de andere analyses die in deze memo zijn beschreven volgt dat op de Delflandse kust *als geheel* gezien meer wordt gesuppleerd dan de totale verliezen bedragen. Dit komt mede doordat het zand door het langstransport naar het noorden wordt vervoerd waardoor een deel van het gesuppleerde zand buiten de erosievakken belandt en geen bijdrage levert aan de kustlijnhandhaving.

Opmerking: In deze analyse is geen rekening gehouden met het feit dat bij onderwatersuppleties het zand deels buiten de grens van de analysezone wordt aangebracht; dit wordt in deze analyse als verlies naar diepwater gerekend. Hierdoor wordt het verlies naar diepwater enigszins overschat. Echter, het grootste deel van suppleties is in de vorm van strandsuppleties uitgevoerd, waardoor deze overschatting nauwelijks invloed heeft op de gepresenteerde resultaten.



Afbeelding 2-6: Vergelijking suppleties met de volumeverandering in de periode 1990 - 2005 t.o.v. 1990

Methode II: Volumebepaling in GIS

In het voorgaande zijn de volumeveranderingen langs de Delflandse kust bepaald door de afzonderlijke raaien te integreren en de resultaten daarvan in Excel te bewerken. Hier is een alternatieve methode gekozen, nl. de kust is opgedeeld in een 7-tal vakken met een lengte van 2-3 km, en voor de periode 1990-2005, in stappen van 2 jaar, zijn de volumes in deze vakken vanaf de duintop tot NAP -5m resp. tot NAP -8m t.o.v. 1990 bepaald door de Jarkusraaien in GIS te interpoleren. De grenzen van de vakken zijn zodanig gekozen dat ze overeenkomen met de grenzen van de suppletievakken. Sommige suppletievakken zijn aanzienlijk groter dan de vakken in deze analyse. Voor deze vakken is uitgegaan van een proportionele verdeling van het suppletievolume over het vak. De resulterende volumeverandering per vak (van duintop tot NAP -8m) is getoond in Afbeelding 2-7. In deze figuur is tevens de netto verandering (verschil tussen suppletievolume en de gemeten verandering) aangegeven.

Door de suppleties uit te zetten tegen de volumeverandering van de vakken kan een beeld worden geschetst van de zandverliezen die optreden over een kustvak. Het zand dat bij de suppleties vrijkomt kan zowel in langsrichting als in dwarsrichting worden getransporteerd. Wanneer het zand in langsrichting getransporteerd wordt zal het in de loop van de tijd een volgend vak binnenvallen. Bij dwarstransport zal het zand uit het systeem verdwijnen.

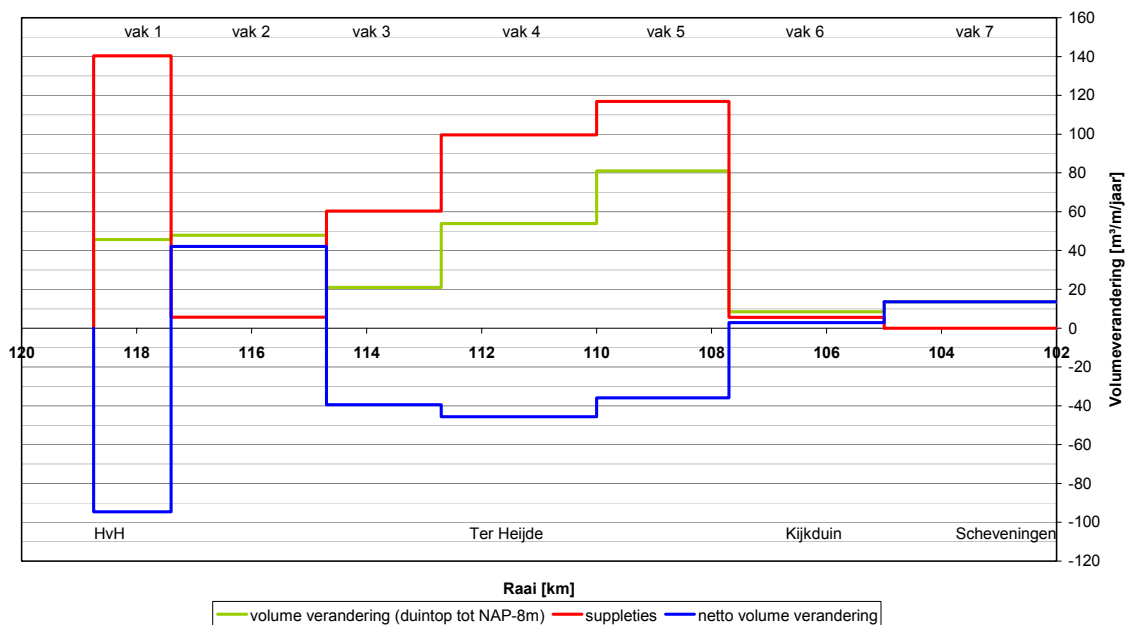
In een serie figuren in Annex 1 van deze Bijlage zijn de resultaten van de uitgevoerde analyse grafisch weergegeven. Naast de verandering van volume is voor elk vak de (gemeten) hoeveelheid van het gesuppleerde zand binnen het respectievelijke vak aangegeven. Een schetsmatige samenvatting van de resultaten daarvan is weergegeven in Afbeelding 2-7.

Beschouwing van de figuren in bijlage 2 leert het volgende (per vak, van west naar oost):

vak 118,7 - 117,4 (Van Dixhoordriehoek)	Na initiële toename tot 1998 een constant beeld, suppleties zijn in evenwicht met verliezen naar diep water; ondanks strandsuppleties vooral toename van het dieper deel van het profiel; nu 1,7 Mm ³ meer zand dan in 1990.
vak 114,7 - 117,4	Een constante toename volume, door natuurlijke aangroei, die bijna volledig in ondiep gedeelte van het profiel plaatsvindt; nu 2,1 Mm ³ meer zand dan in 1990.
vak 112,7 - 114,7 (erosiezone ten zuiden van Ter Heijde)	In evenwicht met suppleties; nu 0,4 Mm ³ meer zand dan in 1990.
vak 110,0 - 112,7 (Ter Heijde)	Tot 2000 erosie, daarna geleidelijke uitbouw, in lijn met de opgevoerde suppleties; nu 2 Mm ³ meer zand dan in 1990; meer toename van de totale actieve zone (tot NAP - 8m) dan van ondiep deel → effect onderwatersuppletie; erosie had vooral betrekking op het dieper deel van het profiel.
vak 107,7 - 110,0 (erosiezone tussen Ter Heijde en Kijkduin)	Tot 1994 afname volume, daarna dankzij suppleties een geleidelijke toename; nu 2,7 Mm ³ meer zand dan in 1990.
vak 105,0 - 107,7 (Kijkduin)	Meer toename volume dan gesuppleerd → effect transport van westelijk aangebrachte suppleties; vanaf 2000 een gedeeltelijke afname, nu ongeveer gelijk aan situatie in 1990.
vak 102,0 - 105,0	Tot 1996 kleine afname volume, daarna vrijwel stabiel; geen suppleties in dit vak; uitbouw van dieper deel van het profiel → effect gedeeltelijke blokkering langstransport door de havendam Scheveningen.

Algemeen geldt dat de totale actieve zone (tot NAP -8m) meer toeneemt dan het ondiepe deel daarvan (boven NAP -5m), dit ondanks overwegend strandsuppleties. Alleen bij Ter Heijde zien we een afname van diepere zone t.o.v. ondiepe zone; dit heeft vermoedelijk te maken met de werking van de lange strandhoofden, die het zand in de ondiepe zone vasthouden, en tegelijk een versteiling van de dieper gelegen zone veroorzaken.

Gemiddelde volumeverandering Delflandse kust 1990-2005



Afbeelding 2-7: Gemiddelde volume verandering 1990-2005 in afzonderlijke vakken

De ruimtelijke verdeling van de volumeveranderingen over de periode 1990-2005 is weergegeven in Afbeelding 2-7. Met deze ruimtelijke verdeling van de verliezen dient bij het suppleren rekening gehouden te worden; suppleties worden immers op een specifieke locaties langs de kust aangebracht. De suppletiebehoefte wordt echter gemiddeld gegeven voor de gehele kust. Berekening van de netto zandverliezen over de periode 1990-2005 (sommatie van alleen verliezen) levert het volgende beeld op (Tabel 2-6):

Zone	Zandverliezen (Mm³/jaar)
Duintop tot NAP -5m	0,38
Duintop tot NAP -8m	0,30

Tabel 2-6: Gemiddelde *netto* zandverliezen Delflandse kust over de periode 1990-2005

Opgemerkt wordt dat deze verliezen bepaald zijn m.b.v. kubering in GIS, en bovendien de *netto* zandverlies vertegenwoordigen waardoor de gevonden waarden enigszins afwijken van de waarden in Tabel 2-5 waar voor dezelfde periode een *bruto* verlies van 0,21 Mm³/jaar in de zone tot NAP -8m is gevonden. Indien bruto verliezen worden beschouwd, komen resultaten van beide methoden redelijk met elkaar overeen.

Op basis van de resultaten van beide methoden wordt een schatting gemaakt voor de onderhoudsbehoefte van de Delflandse kust in de huidige situatie. Daarbij wordt het opgetreden zandverlies als maat voor de suppletiebehoefte genomen. Als ondergrens wordt de waarde van 0,3 Mm³/jaar uit Tabel 2-6 genomen. Omdat de zandverliezen op basis van de beschouwing van het afgelopen 5 jaar hoger blijken uit te vallen wordt de waarde van 0,49 Mm³/jaar (afgerond

naar 0,5 Mm³/jaar) uit Tabel 2-5 als bovengrens voor de onderhoudsbehoefte aangehouden. Dit wordt vertaald naar *een onderhoudsbehoefte van 0,4 Mm³/jaar met een range van 0,3 - 0,5 Mm³/jaar.*

3 BEPALING INVLOED ALTERNATIEVEN OP ONDERHOUDSBEHOEFTE

De onderhoudsbehoefte behorende bij de in het MER onderzochte alternatieven kan afwijken van de onderhoudsbehoefte in de referentiesituatie. Een afwijking is mogelijk als gevolg van

- een verandering in de ligging van de kustlijn waardoor het kustlangs transport kan wijzigen;
- een verandering in de locatie van de kustlijn (bijvoorbeeld verder zeewaarts), waardoor wijzigingen in het kustdwars transport op kunnen treden (als gevolg van bijvoorbeeld een steiler profiel);
- wijzigingen in het functioneren van de langs de kust aanwezige strandhoofden als gevolg van het afdekken ervan.

De invloed van bovenstaande mogelijke wijzigingen op het kustonderhoud als gevolg van de verschillende alternatieven is onderzocht. In de komende paragrafen worden deze onderzoeken uitgewerkt.

3.1 Invloed kustlijn alternatieven op onderhoudsbehoefte

3.1.1 Invloed alternatieven op ligging kustlijn

Bij de alternatieven zal de richting van de kustlijn niet significant veranderen t.o.v. de huidige ligging. Bij de alternatieven *Zeewaarts verbreden* en *Royaal zeewaarts verbreden* wordt in principe uitgegaan van een horizontale zeewaartse verschuiving van de kustlijn, zij het in verschillende mate. Bij het alternatief *Verhoogde duinen* wordt de duinversterking ten behoeve van de veiligheid binnen het huidige kustprofiel gerealiseerd. Een uitzondering daarop is de strandverbreding die bij *Verhoogde duinen* plaatsvindt voor de ontwikkelen van de duinvorming.

De aanleg van de duincompensatie voor Maasvlakte 2 resulteert daarnaast bij alle alternatieven in een zeewaartse verlegging van de kustlijn. Voor de duincompensatie (met een totaal oppervlak van ca 35 ha) is door Alkyon (2004) (opgenomen als bijlage 1 in het Programma van Eisen voor natuurcompensatie aanwinning Maasvlakte-2 (PMR-U, 2004)), bepaald dat de onderhoudsbehoefte van de Delflandse kust door de aanleg met mogelijk ca. 50.000 m³/jaar zal afnemen als gevolg van langsstrekken van de kustlijn. Dit is een afname van ca. 15% in vergelijking met de huidige suppletiebehoefte. Omdat de richting van de kustlijn verder nauwelijks verandert zal de verandering in de verdeling van de langstransporten langs de kust niet groot zijn.

Op basis hiervan wordt geconcludeerd dat de onderhoudsbehoefte van de Delflandse kust *als gevolg van veranderde kustlijn oriëntatie nauwelijks zal worden beïnvloed door de aangebrachte kustversterking*. Het langsstrekken van de kustlijn kan zelfs tot enige afname van de onderhoudsbehoefte leiden, al moet deze schatting met enige voorzichtigheid worden

gehanteerd. Dit beeld wordt bevestigd door de uitgevoerde modelberekeningen die in het vervolg van deze paragraaf zijn beschreven.

3.1.2 Kustlangs sedimenttransport

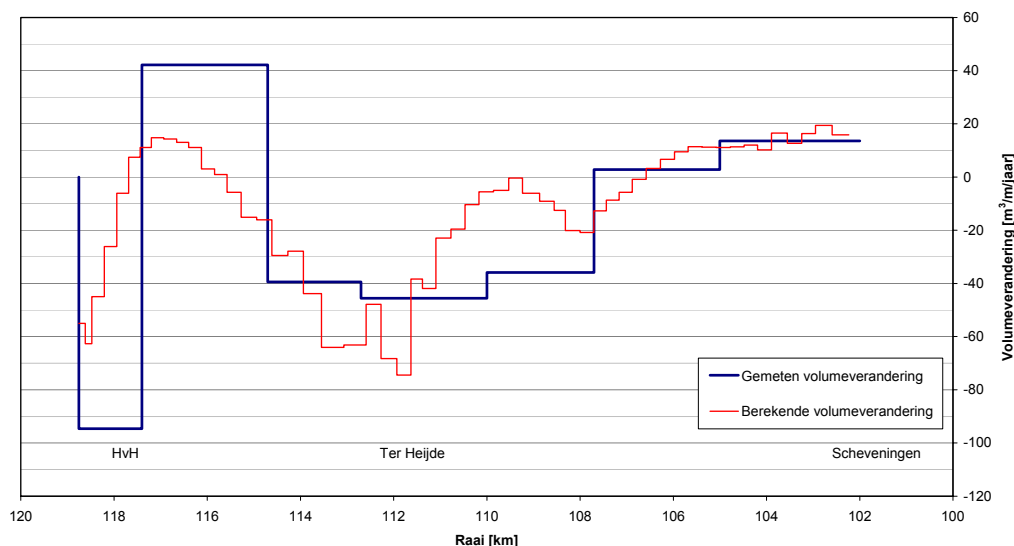
Inleiding

In het kader van project Zwakke Schakel Delflandse kust worden verschillende alternatieven voor de kustversterking ontworpen. Doordat er bij al deze alternatieven de ligging van de kustlijn wordt veranderd is de verwachting dat het sedimenttransport langs de kust ook verandert. Dit is van invloed op de totale onderhoudsbehoefte van de kust. Het doel van deze analyse is om (per alternatief) aan te geven welke invloed de voorgestelde wijzigingen op de onderhoudsbehoefte zullen hebben, en de alternatieven op dit aspect onderling te vergelijken. De kwantificering van de effecten van alternatieven is gebaseerd op berekeningen met het 1D kustlijnmodel. Daarbij is gebruik gemaakt van de morfologische analyse die reeds eerder in het kader van dit project is uitgevoerd en gerapporteerd is in de voorgaande paragrafen. Het model is gecalibreerd door uit te gaan van de autonome kustontwikkeling (d.w.z. zonder suppleties), en de berekende kustverandering (eigenlijk de gevonden volumes van erosie resp. aanzanding) te vergelijken met de overeenkomstige grootheden die uit de kubering van Jarkusraaien in de 7 onderscheiden vakken zijn afgeleid (zie voorgaande paragrafen). Het uitgangspunt daarbij is dat de beïnvloeding van de zandtransport processen door suppleties, berekend over de tijdschaal van jaren beperkt is. Dit gaat redelijk op voor de Delflandse kust, behalve twee locaties: de Van Dixhoordriehoek en Ter Heijde waar (recent) erg veel is gesuppleerd. Op deze locaties zullen de modelberekeningen minder betrouwbaar zijn, maar wel voldoende bruikbaar voor het doel, nl. voor het vergelijken van de alternatieven, en voor het bepalen van de gevoeligheid daarvan voor de klimaatverandering. De gemaakte fout zal, nl. ongeveer gelijk zijn bij alle alternatieven.

Resultaten modelcalibratie

De resultaten van de uitgevoerde modelcalibratie zijn weergegeven in Afbeelding 3-1. In deze figuur zijn de volumes aanzanding/ erosie per meter kustlengte uitgezet. Bij de interpretatie van de resultaten dient rekening te worden gehouden met het feit dat de kuberingvakken veel groter (~2,5 km) zijn dan de lengte van de rekenvakken in het model (200 m) waardoor modelberekening een veel gedetailleerder beeld geeft. Bij de vergelijking dient het oppervlakte boven resp. onder de lijnen (aanzanding resp. erosie) worden beschouwd, deze zijn namelijk wel met elkaar vergelijkbaar.

Resultaat modelcalibratie



Afbeelding 3-1: Resultaat calibratie: vergelijking van gemeten en berekende gemiddelde volumeverandering in de huidige situatie (zonder suppleties)

Zoals eerder aangegeven wordt hier volstaan met een grove calibratie, waarbij het autonome gedrag van de kust globaal wordt gesimuleerd. Het model reproduceert redelijk de ruimtelijke verdeling van erosie en aanzanding langs de Delflandse kust. De berekende volumes van erosie in de Van Dixhoorndriehoek en bij Ter Heijde zijn wat lager dan afgeleid uit de metingen. Een verklaring hiervoor is dat de berekening betrekking heeft op een natuurlijke situatie, terwijl in de werkelijkheid op die locaties veel gesuppleerd wordt. Door de suppleties zal extra zandverlies optreden: het gesuppleerde zand komt niet volledig ten goede aan de kustlijn op de locatie waar de suppletie is uitgevoerd, een deel zal naar het noorden worden getransporteerd, en een deel naar diep water. Bovendien is bij Ter Heijde onlangs (2003/2004) een omvangrijke strandsuppletie uitgevoerd; er is gesuppleerd om de veiligheid van de duinen te vergroten, het betrekken van deze laatste suppletie in de analyse geeft een enigszins vertekend beeld (overschatting van werkelijke erosie). Bij Scheveningen voorspelt het model een geringe erosie, dit is niet zichtbaar in de kuberingsberekeningen. Uit de morfologische analyse blijkt echter dat er wel een toename van volume in de gehele actieve zone (tot NAP -8m) plaatsvindt, maar dat boven de NAP -5m lijn wel een afname van volume zichtbaar is. Het strand daar wordt ook smaller. Blijkbaar is dit het effect van de havendam van Scheveningen die op dieper water zand tegenhoudt.

Het totale netto zandverlies (sommatie van negatieve volumeverandering, bepaald als oppervlakte tussen de nullijn en de lijn die de volumeverandering aangeeft in Afbeelding 3-1) berekend door het model bedraagt ca 0,3 Mm³/jaar. Dit is gelijk aan de netto verliezen die middels kubering in GIS is gevonden (zie Tabel 2-6).

Autonome ontwikkeling

De autonome ontwikkeling in deze analyse is gedefinieerd als de ontwikkeling van de huidige kustlijn die door de klimaatverandering zwaarder wordt aangevallen.

De inschatting van kustontwikkeling bij autonome ontwikkeling is gedaan voor de situatie over 50 jaar, met de daarbij behorende klimaatontwikkeling. Daarbij is uitgegaan van het midden-scenario volgens de Leidraad Zandige Kust (0,3 m zeespiegelstijging, geen verandering van golfklimaat). Om de gevoeligheid van het resultaat te bepalen, zijn dezelfde berekeningen ook voor het maximum scenario (0,45 m zeespiegelstijging, 5% toename in golfhoogte) uitgevoerd. Het verschil tussen het minimum en het midden scenario voor horizon van 50 jaar - 0.2 m verschil in zeespiegelstijging - is te klein om een significant verschil in de zandtransporten te veroorzaken. De morfologische berekeningen zijn uitgevoerd voor een gemiddeld golfklimaat. De zeer zware stormen leveren vanwege hun korte duur een relatief kleine bijdrage aan het jaartransport, daarom zijn deze buiten beschouwing gelaten.

De bovengenoemde scenario's zijn doorgerekend met Unibest. Uit de analyse van resultaten blijkt dat de klimaatsverandering tot een toename van zandverliezen met 2% (middenscenario) en 14% (maximumscenario) t.o.v. de huidige situatie zullen leiden. In de eerder beschreven morfologische analyse wordt geconcludeerd dat de verliezen naar diepwater over 50 jaar met 200% zullen toenemen. Dit wordt vooral veroorzaakt door het op peil houden van het kustfundament, een menselijke ingreep (uitvoeren van beleid) dat niet door het model kan worden voorspeld.

Vergelijking van alternatieven

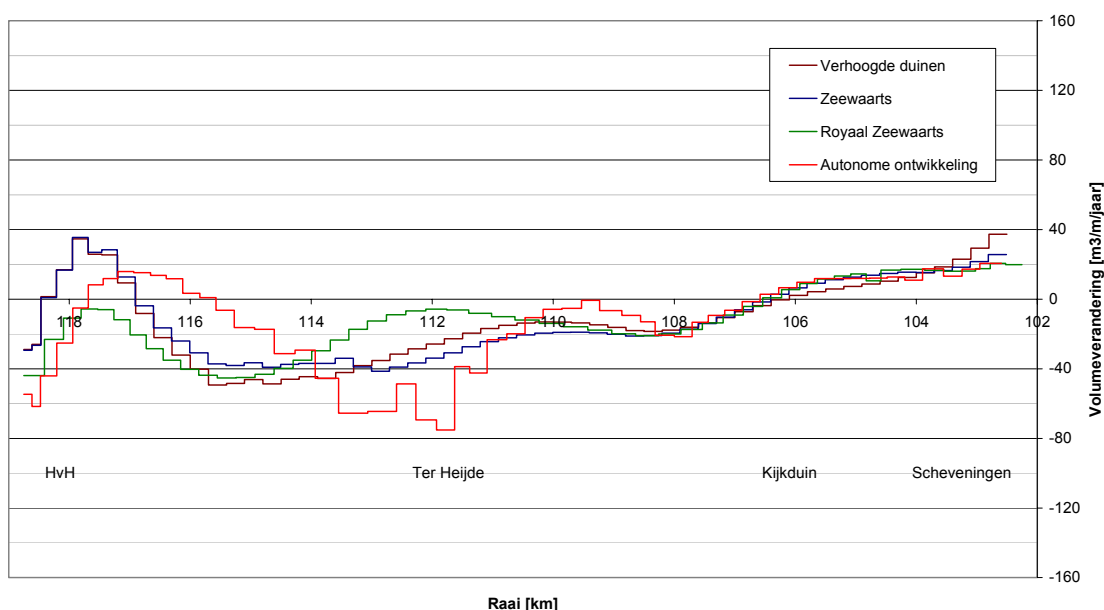
Vervolgens is de kustontwikkeling vergeleken voor een drietal alternatieven: verhoogde duinen, zeewaarts verbreden en royaal zeewaarts verbreden. Voor elk van deze alternatieven is de kustlijn bepaald aan de hand van de opgestelde ontwerpen voor deze drie alternatieven. Vervolgens is voor deze drie alternatieven de kustontwikkeling berekend met Unibest CL+. In Afbeelding 3-2 is deze vergelijking grafisch weergegeven. De berekeningen zijn uitgevoerd voor het middenscenario.

Als gevolg van getijstromingen en golfgedreven stromingen ontstaat langs de kust zandtransport. Indien het transport langs een kustvak constant blijft, is dit kustvak in evenwicht. De veranderingen in de ligging van de kustlijn ontstaan door verandering van de zandtransport (eigenlijk: zandtransportcapaciteit) langs de kust. Bij een afname van deze capaciteit, bijvoorbeeld door de afschermende werking van havendammen ontstaat aanzanding; bij een toename van zandtransportcapaciteit treedt erosie op en gaat de kustlijn achteruit.

Het huidige kustlangs zandtransport van zuid naar noord bedraagt ca. 160.000-180.000 m³/jaar (huidige berekeningen, Alkyon [2002], Van Rijn [1995]). Bij het ontstaan van een gradiënt in het kustlangs transport vindt erosie dan wel sedimentatie plaats. Bij de Delflandse kust blokkeert de Noorderdam bij Hoek van Holland nagenoeg volledig het zandtransport van zuid naar noord. Omdat ten noorden van de dam wel transportcapaciteit bestaat maar geen zand wordt aangevoerd wordt het zand aan de kust onttrokken en is er sprake van erosie. Dit is goed te zien in Afbeelding 3-2 waarin de verandering van de kustlijn (uitgedrukt in volume erosie resp.

aanzanding per strekkende meter per jaar) is getoond. In de huidige situatie wordt het zand geërodeerd bij Hoek van Holland (Van Dixhoordriehoek) en bij Ter Heijde. Tussen deze twee plaatsen ligt een grote aanzandingszone. In de nieuwe situatie is de kustlijn geoptimaliseerd. Hierdoor is de erosie in ten noorden van het PMR duincompensatiegebied aanzienlijk kleiner geworden. De erosie bij Ter Heijde is nagenoeg verdwenen.

Vergelijking volumeverandering Delflandse kust voor verschillende alternatieven



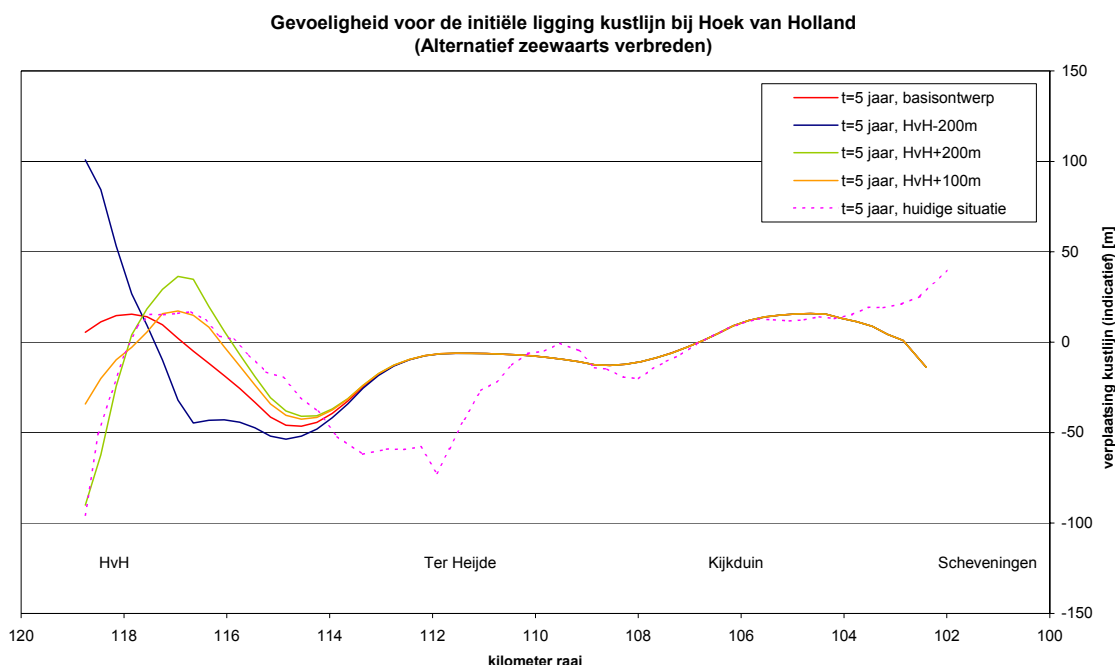
Afbeelding 3-2: : Vergelijking van de autonome ontwikkeling met de drie alternatieven voor kustontwikkeling; lijnen in de figuur geven de verandering van de kustlijn weer, uitgedrukt in de jaarlijkse erosie/aanzanding per strekkende meter

Gevoeligheid initiële ligging van de kustlijn

Er is onderzoek gedaan naar de gevoeligheid van de initiële ligging van de kustlijn van Hoek van Holland in een gebied van ongeveer 1 km ten noorden van de Noorderdam. De initiële kustlijn bij de Noorderdam is hiervoor zowel zeewaarts (100 m en 200 m) als landwaarts verplaatst en na 1 km sluit deze aan op de ontwerp kustlijn. In Afbeelding 3-3 is te zien dat het effect van de aangepaste kustligging nabij de Noorderdam alleen effect heeft op de eerste 6 km ten noorden van de Noorderdam.

Het verder zeewaarts leggen van de initiële kustlijn veroorzaakt een lokale aanzanding bij de Noorderdam, gevolgd door een versterkte erosie bij het PMR duincompensatie gebied. Daarentegen leidt het meer landwaarts leggen van de kustlijn bij de dam tot een sterkere erosie bij de dam gevolgd tot een grotere aanzanding bij het duincompensatie gebied, waarachter weer een grotere erosie optreedt. Dit wordt veroorzaakt door de veranderde kustoriëntatie ten opzichte van de dominante golfrichting. Geconcludeerd wordt dat de morfologische ontwikkeling bij de dam van Hoek van Holland erg gevoelig is voor de kustoriëntatie, en dat de voorgestelde ontwerp kustlijn uit het kustversterkingsplan een vrij optimale kustlijn voorstelt, waarbij de kustprocessen zich gelijkmatig af zullen spelen. Opgemerkt wordt dat het gepresenteerde beeld vanwege de relatief grove afregeling van het model slechts als *kwantitatief* dient te worden

beschouwd. De absolute waarden van kustlijnverplaatsing zijn onbetrouwbaar, wel het totale beeld van gevoeligheid voor de initiële orientatie van de aangelegde kustlijn.



Afbeelding 3-3: Gevoeligheid initiële ligging kustlijn

De uitgevoerde berekeningen geven een indicatie van de onderhoudsbehoefte voor verschillende alternatieven. Deze berekende zandverliezen zijn weergegeven in Tabel 3-1. Deze verliezen hebben alleen betrekking op het langtransport, er is geen rekening gehouden met verliezen naar diep water (buiten de NAP -8m contour).

Alternatief	Verandering onderhoudsbehoefte t.o.v. huidige situatie
Autonome ontwikkeling (middenscenario, 50 jaar)	2 %
Autonome ontwikkeling (maximumscenario, 50 jaar)	14 %
Zeewaarts verbreden (middenscenario, 50 jaar)	-2 %
Royaal zeewaarts verbreden (middenscenario, 50 jaar)	-10 %
Verhoogde duinen (middenscenario, 50 jaar)	-2 %

Tabel 3-1 Berekende zandverliezen t.g.v. gradiënten in het langtransport

Voor de onderhoudsbehoefte in de huidige situatie is in dit onderzoek een waarde van 0,4 Mm³/jaar afgeleid. In Tabel 3-1 is de met model berekende verandering van de onderhoudscapaciteit relatief t.o.v. ten opzichte van de huidige situatie aangegeven.

Zoals blijkt uit Tabel 3-1 zorgen de drie alternatieven voor de kustontwikkeling niet voor een toename van het zandverlies t.o.v. de huidige situatie. De resultaten van modelberekeningen

suggesteren dat er een relatief geringe afname (2-10%) van de onderhoudsinspanning kan worden verwacht als gevolg van de wijzigende oriëntatie van de kustlijn. Deze voorspelde afname van de onderhoudsinspanning is (deels) het gevolg van het langsstrekken van de kust door de aanleg van het duincompensatiegebied zoals eerder beschreven. De aanleg van dit duincompensatiegebied is namelijk in alle alternatieven meegenomen. Daarom is de voorspelde afname niet direct (geheel) een gevolg van de aanleg van de alternatieven.

Bovendien zijn de verschillen in de zandverliezen tussen de alternatieven relatief klein en vallen binnen de foutmarge van de berekening (geschat op +/-100%). Geconcludeerd kan worden dat de *alternatieven niet onderscheidend zijn in deze analyse*.

Zoals reeds eerder bij de bespreking van de autonome ontwikkeling aangegeven, hebben de gepresenteerde resultaten betrekking op de effecten t.g.v. gewijzigd zandtransport, en zijn dus exclusief de toename van suppletiebehoefte om het kustfundament op peil te houden.

De uitgevoerde analyse heeft uitsluitend betrekking op het langstransport, en negeert de dwarstransport processen en negeert de invloed van de strandhoofden. Beide effecten zijn nader onderzocht en worden beschreven in de volgende twee paragrafen.

3.2 Invloed aanpassing dwarsprofiel op onderhoudsbehoefte

Inleiding

Bij het bepalen van de benodigde hoeveelheden zand voor de versterking is uitgegaan van het zeewaarts verschuiven van bestaande dwarsprofiel. Ook bij het opstellen van de ontwerpen is hiervan uitgegaan. Hoewel in deze fase nog geen uitvoeringsmethode van de werkzaamheden wordt vastgelegd, is het aannemelijk dat het profiel dat ontstaat door het verschuiven van het bestaande profiel niet direct aan te leggen is. In deze analyse zijn een aantal aannames gedaan omtrent de uitvoering om eventuele effecten daarvan in beeld te krijgen.

Voor de alternatieven waarbij de kustlijn zeewaarts wordt verbreed dient nader inzicht te worden verkregen in de effectiviteit van de aanlegmethode (grotendeels onderwatersuppletie) en de mogelijke zandverliezen die optreden naar dieper water. Met dit laatste kan namelijk de onderhoudsbehoefte worden afgestemd.

Bij de alternatieven waarbij de kustlijn zeewaarts wordt verplaatst wordt gebruik gemaakt van ontwerpen van de nieuwe kustzone in de vorm van dwarsdoorsneden. Het blijkt echter lastig te zijn om de ontworpen dwarsdoorsneden werkelijk op deze wijze aan te leggen aangezien het moeilijk is om tussen de NAP -5 meter en de laagwaterlijn te suppleren. Daarom wordt er vanuit gegaan dat het zand benodigd tussen de laagwaterlijn en de NAP -5 meter initieel wordt aangelegd op het strand (en/ of duin) ($\pm 20\%$) en tussen de NAP -8 en -5 meter lijn ($\pm 80\%$). Het idee is dat o.a. het dwarstransportproces ervoor gaat zorgen dat het zand getransporteerd wordt naar de BKL zone (zone van NAP +3 tot NAP -5 meter).

Opgemerkt wordt dat in het versterkingsplan uitgegaan is van een 50-50% verdeling van het zand over de bovengenoemde zones. Naar verwachting heeft dit geen grote invloed op de geldigheid van de gepresenteerde resultaten.

Uit evaluaties van eerder uitgevoerde onderwatersuppleties ten behoeve van kustlijnhandhaving [RIKZ, 2002] blijkt dat de ligging van de Momentane Kustlijn (MKL) in de jaren na het uitvoeren van de onderwatersuppletie zeewaarts verschuift. Aangezien de ligging van de MKL gerelateerd is aan het volume dat aanwezig is in de BKL zone kan worden geconcludeerd dat een zeewaartse

verplaatsing van de MKL een toename van het volume in de BKL zone betekent. Tevens is waargenomen dat de duinvoet en de laagwaterlijn eveneens zeewaarts verplaatsen.

Daarnaast is door Witteveen & Bos en Koster Engineering (2006) een evaluatie van onderwatersuppletie uitgevoerd. Hierin wordt geconcludeerd dat de effectiviteit van onderwatersuppleties overwegend langdurig positief is (ca 7 jaar). Bij een onderwatersuppletie is de effectiviteit initieel nihil en vroeg of laat komt ca 20-30 % van de aangebrachte onderwatersuppletie in de BKL zone terecht. Strandsuppleties worden voor een periode van 3-5 jaar ontworpen. Hiervan is de effectiviteit initieel 100% en dit neemt af tot nul.

Uit een analyse van de kosteneffectiviteit blijkt dat onderwatersuppleties de BKL op orde houden, maar tevens een bijdrage levert aan het kustfundament. Beoordeeld is dat de onderwatersuppleties rendabel zijn geweest.

Op basis van bovenstaande kan worden verondersteld dat een onderwatersuppletie, uitgevoerd ten behoeve van versterking van de Delflandse kust, een positief effect zal hebben op het aanwezige zandvolume van de BKL zone. Toch is het wenselijk om de morfologische ontwikkeling van de aangebrachte onderwatersuppletie te monitoren om inzicht te krijgen in specifieke processen, waarvan de resultaten in de volgende paragraaf staan weergegeven.

Het doel van deze monitoring is:

- Inzicht krijgen in de zandverliezen naar diep water;
- Een inschatting maken van de zandverliezen bij het aanbrengen van de onderwatersuppletie tussen NAP -5 meter en NAP -8 m contour;
- Inzicht krijgen in de tijdschaal waarop de aangebrachte suppletie een positief effect heeft op de zandvolumes in de BKL zone.
- Inzicht verkrijgen in de effectiviteit van de aanlegmethode.

Validatie model - dwarstransport Kijkduin

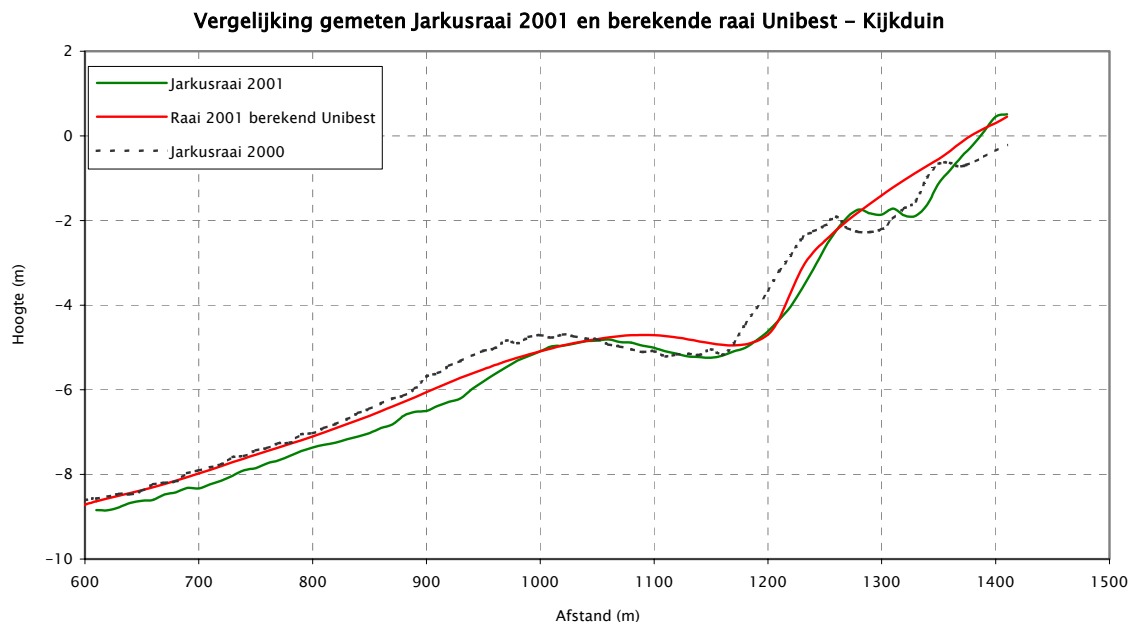
In de beschrijving van de methode van de dwarstransportberekeningen staat weergegeven dat de calibratie van het model niet heeft plaatsgevonden, maar dat modelinstellingen zijn overgenomen van Burgers [2003]. Om inzicht te krijgen hoe goed het model voorspelt op een met de gebruikte modelinstellingen op een afwijkende locatie (maar een overeenkomend jaar) is het model gevalideerd.

De validatie van het model heeft plaatsgevonden door een controleberekening uit te voeren op raai 106,23 nabij Kijkduin. Deze raai wordt in de tijdsperiode 2000-2001 weinig beïnvloed door uitgevoerde suppleties. Gedurende deze periode heeft een onderwatersuppletie plaatsgevonden op het traject Kijkduin - Ter Heijde. De noordelijke grens van dit traject ligt 1 km ten zuiden van de gebruikte Jarkusraai (overzicht uitgevoerde suppleties zie paragraaf 2.1 van deze bijlage).

Een overzicht van de gebruikte modelinstellingen, invoerparameters en uitgangspunten is opgenomen in Bijlage 1.

Het resultaat van het doorrekenen van een jaar dwarstransporten ter plaatse van Kijkduin is zichtbaar in Afbeelding 3-4. Om in te schatten hoe goed het model voorspelt is tevens de Jarkusraai van 2001 in de figuur geplot.

In de scriptie van Burger [2003] wordt beschreven dat de modelvoorspellingen boven de NAP -3 meter onbetrouwbaar zijn. Tijdens het calibratie- en validatieproces wordt door Burger daarom met name gekeken naar de richting en afstand van verplaatsing van banken in het profiel. Kijkend naar de verplaatsing van de bank in het profiel in Afbeelding 3-4 is te zien dat de modelvoorspelling redelijk uitpakt. De bank verplaatst zich in de modelvoorspelling net als in de werkelijke situatie richting land. Wordt deze modelvoorspelling vergeleken met de 'best fit' resultaten uit de scriptie van Burger, dan blijkt dat het modelresultaat bij Kijkduin een vergelijkbare afwijking heeft met de werkelijkheid als de modelresultaten van Burger [2003]. Uit bovenstaande wordt geconcludeerd dat de modelvoorspelling nabij Kijkduin redelijk is. Daarom zullen de huidige modelinstellingen gebruikt worden in de voorspelling van de ontwikkeling van onderwatersuppleties voor de Delflandse kust.



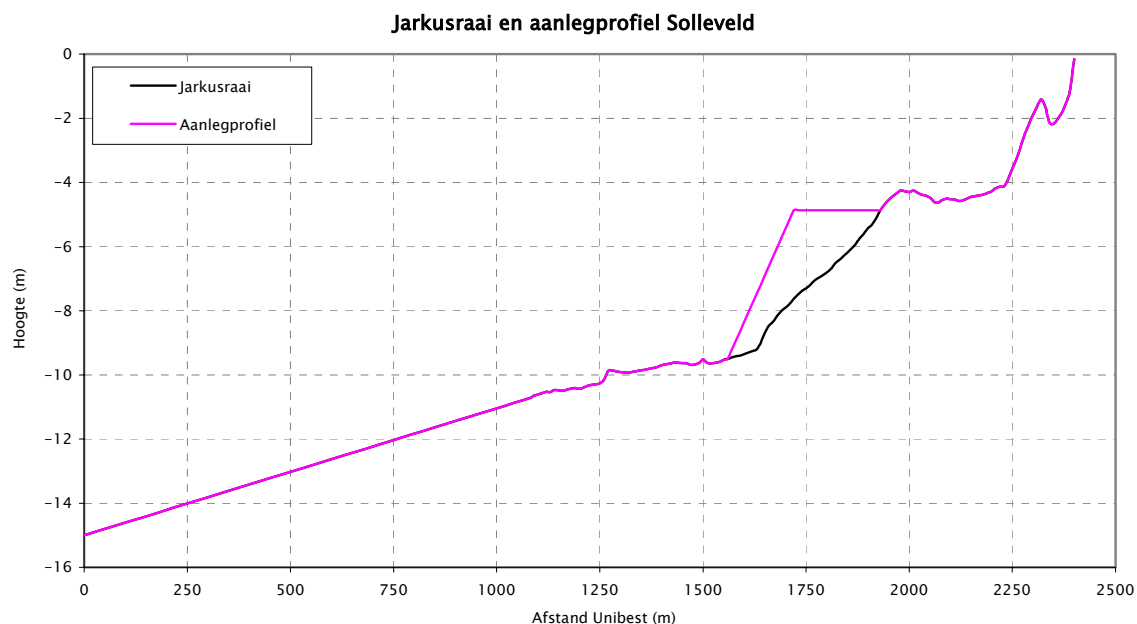
Afbeelding 3-4: Modelvoorspelling 2001 en Jarkusraai 2001 voor raai 106,23

Ontwikkeling onderwatersuppletie Solleveld

Aanlegprofiel

Voor het bekijken van de ontwikkeling van een onderwatersuppletie nabij Solleveld is Jarkusraai 109,20 in het jaar 2005 als startsituatie gebruikt. Op deze locatie is voor het verkrijgen van een fictief ontwerpprofiel (behorende bij een zeewaartse verbreding) een onderwatersuppletie van 285 m³/m benodigd. Hoe specifiek bepaald wordt welk suppletievolume benodigd is voor om het het voorkeursalternatief aan te kunnen leggen wordt beschreven in hoofdstuk 7 van het hoofd-rapport. Verwacht wordt dat bij het aanbrengen van -en in de tijdsperiode na- de suppletie aanzienlijke zandverliezen op zullen treden (naar naastgelegen kustvakken en naar dieper water). Om die reden wordt aangenomen dat twee keer zoveel zand benodigd is, in deze raai wordt dus in het model 570 m³/m aangelegd. Omdat gezien het relatief steile profiel tussen de NAP -5 meter en -8 meter het niet mogelijk is om tussen deze contouren 570 m³/m zand in te passen, is de locatie van de onderwatersuppletie uitgebreid tot NAP -9,5 meter.

In onderstaande figuur is het originele Jarkusprofiel samen met het aanlegprofiel weergegeven.



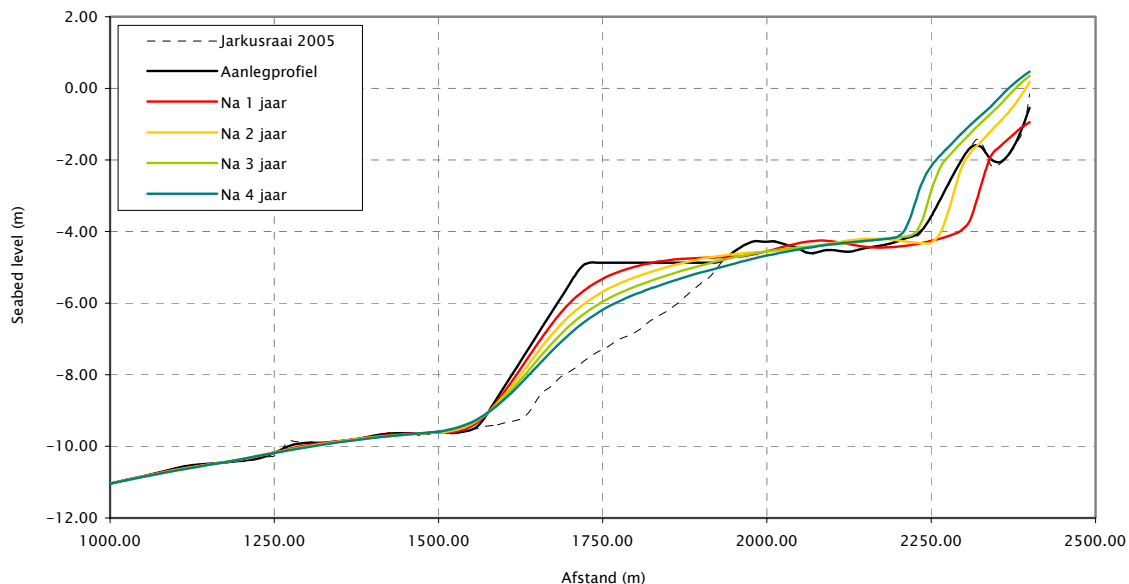
Afbeelding 3-5: Jarkusraai 2005 en suppletie van 578 m³/m

Profielontwikkeling gedurende 4 jaar

De ontwikkeling van de suppletie is voor 4 jaar doorgerekend in UNIBEST-TC. De ontwikkeling van de profielen gedurende deze jaren is te zien in Afbeelding 3-6. Niet het gehele profiel is getoond, aangezien benden NAP -11 m nauwelijks een verandering van het profiel plaatsvindt.

Zichtbaar is dat met de modelberekening wordt voorspeld dat gedurende de vier doorgerekende jaren de aangelegde suppletie zich naar hogere delen in het profiel verplaatst. Het dwarstransportproces zorgt er dus voor dat zandvolumes landwaarts worden verplaatst. Met dit landwaarts verplaatsen van zandvolumes is het mogelijk om van een aanlegprofiel naar een ontwerpprofiel te komen.

Profielontwikkeling Solleveld gedurende 4 jaar



Afbeelding 3-6: Ontwikkeling van de onderwatersuppletie gedurende 4 jaar nabij Solleveld

Volumeontwikkelingen Door middel van een analyse van de volumeontwikkelingen in verschillende zones kan worden gekwantificeerd hoe groot de waargenomen volumeontwikkelingen uit Afbeelding 3-6 zijn. In de **Error! Reference source not found.** tot Tabel 3-2 en met Tabel 3-3 worden de volumeontwikkelingen in het profiel weergegeven ter plaatse van de suppletielocatie en in het ondiepe deel van het profiel boven de suppletielocatie. De tabellen zijn opgenomen om aan te geven op welke locaties de volumeveranderingen worden berekend door het model (patroon); de exacte berekende getallen zijn van minder belang. De volumes zijn berekend ten opzichte van een vast referentieniveau, namelijk NAP -16 meter.

Beschrijving	Volume over afstand 1600 m-1920 m (m ³ /m)	Volumeverval met aanlegprofiel (m ³ /m)	Verandering per jaar (m ³ /m)
Jarkus 2005	2863.25	-	-
Aanlegprofiel	3427.65	-	-
Na 1 jaar	3474.07	46.4	46.4
Na 2 jaar	3285.22	-142.4	-188.9
Na 3 jaar	3212.12	-215.5	-73.1
Na 4 jaar	2929.90	-497.8	-282.2

Tabel 3-2 Ontwikkeling volumes ter plaatse van suppletielocatie (ca NAP--5 m - -9m in profiel Solleveld (rood is negatieve verandering; blauw is positieve verandering)

Tabel 3-2 geeft de verandering van de zandvolumes ter plaatse van de suppletielocatie weer ten opzichte van de aanlegprofiel. Zoals ook uit Afbeelding 3-6 kan worden opgemaakt nemen de zandvolumes bij de suppletielocatie af in de tijd. Deze zandvolumes worden volgens de modelberekening met name getransporteerd naar de ondiepe zone, waar het zand bij zal dragen aan de kustversterking.

Beschrijving	Volume over afstand 2000 m-2350 m (m ³ /m)	Volumeverschil met Ontwerpraai (m ³ /m)	Verandering per jaar (m ³ /m)
Jarkus 2005	4261.1	-124.4	
Aanlegprofiel	4259.5	-125.9	
Na 1 jaar	4135.5	-249.9	-123.9
Na 2 jaar	4237.6	-147.8	102.1
Na 3 jaar	4348.5	-36.9	110.9
Na 4 jaar	4399.9	14.4	51.4

Tabel 3-3 Ontwikkeling volumes in ondiepe deel profiel (ca van NAP -5 meter tot LWL) in profiel Solleveld (rood is negatieve verandering; blauw is positieve verandering)

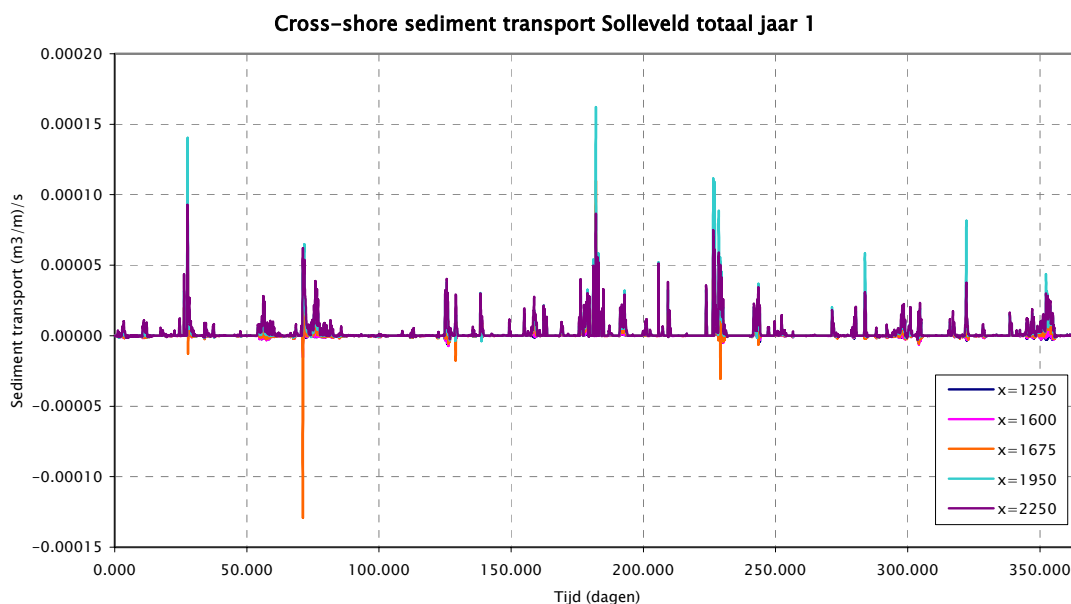
In bovenstaande Tabel 3-3 staan de volumeveranderingen uitgezet in de ondiepe zone ca van NAP -5 meter tot de laagwaterlijn. Gekozen is om in deze zone de volumes uit te zetten ten opzichte van de ontwerpraai aangezien dan een beeld wordt verkregen van de tijdsperiode waarin de zandvolumes in de ondiepe zone, de zone waar de zandvolumes bijdragen aan de kustversterking, het ontwerpprofiel benaderen.

Uit Tabel 3-3 kan worden afgeleid dat aanzanding plaatsvindt in de ondiepe zone. Door deze aanzanding wordt volgens het model het ontwerpprofiel benaderd in het vierde jaar na uitvoering van de suppletie. Echter voorzichtigheid dient geboden te worden met deze conclusie aangezien het model UNIBEST-TC in de ondiepe zone (boven NAP -3 meter) niet betrouwbaar blijkt te zijn.

Verliezen naar diep water

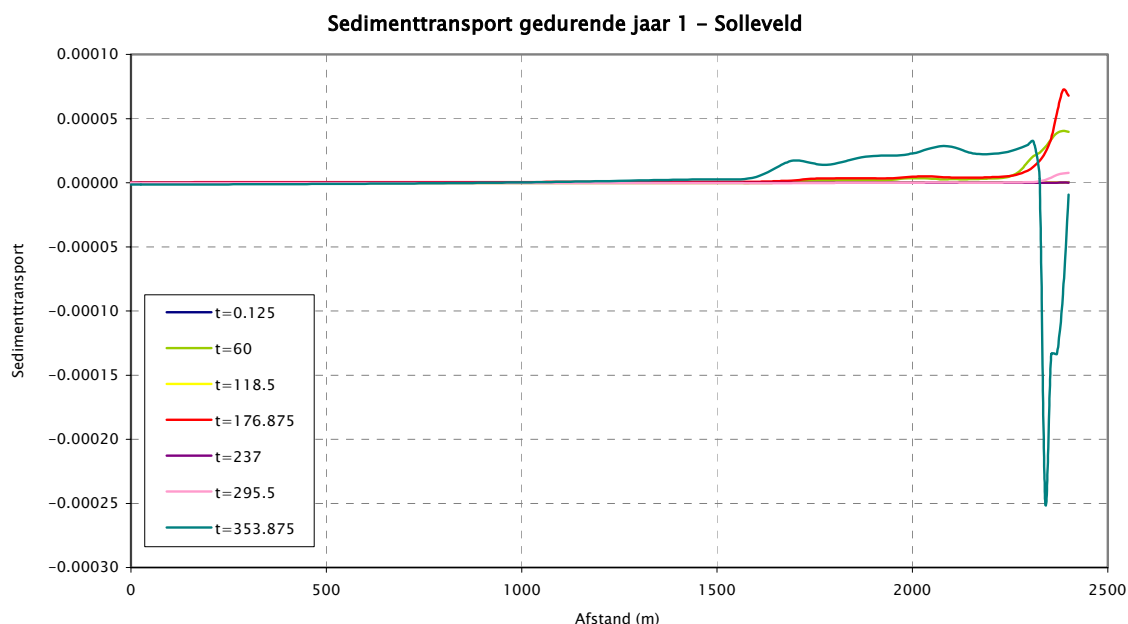
Uit de analyse van volumeveranderingen in het profiel blijkt dat de verliezen naar diep water vrijwel nihil zijn. Het model berekent wisselend toename en afname van het zandvolume in de orde van 0,1%; deze verandering is te beschouwen als een numerieke ruis in de resultaten en wordt verder niet geïnterpreteerd.

Uit een evaluatie van een onderwatersuppletie bij Ter Heijde door RIKZ [2002] blijkt tevens dat nauwelijks zand is verdwenen naar dieper water aangezien vrijwel al het zand terug te vinden is in de actieve zone.



Afbeelding 3-7: Sedimenttransport gedurende een jaar op verschillende locaties in raai Solleveld. Positief transport betekend transport richting de ondiepe zone, negatief transport betekend transport naar dieper water.

Met het model UNIBEST-TC kunnen de (eventuele) voorspelde zandverliezen naar dieper water inzichtelijk gemaakt worden aangezien de sedimenttransporten in de tijd op een bepaalde locatie kunnen worden opgevraagd. Dit is gedaan voor locaties die ongeveer overeen komen met NAP -4, -5, -6, -8 en -10 meter (Afbeelding 3-7). Tevens zijn gegevens van het sedimenttransport beschikbaar op verschillende tijdstippen over het gehele profiel (Afbeelding 3-8). Beide gegevens worden gepresenteerd voor het eerste berekende jaar aangezien in dit jaar de grootste volumeveranderingen optreden in het totale profiel.



Afbeelding 3-8: Sedimenttransport in het profiel op verschillende tijdstippen gedurende het 1^{ste} jaar - Solleveld

Afbeelding 3-7 en Afbeelding 3-8 geven een beperkt beeld van de voorspelde sedimenttransporten in het profiel. Afbeelding 3-7 geeft namelijk het transport weer op bepaalde locaties, terwijl Afbeelding 3-8 het transport weergeeft op bepaalde tijdstippen. Ondanks dat niet alle optredende transporten gedurende het eerste jaar zichtbaar zijn in bovenstaande afbeeldingen wordt met deze afbeeldingen redelijk inzicht verkregen in de optredende transporten. Worden de zichtbare patronen uit beide afbeeldingen gecombineerd, dan kan worden geconcludeerd dat:

- de optredende sedimenttransporten in positieve richting (richting land) vele malen groter zijn dan de transporten in negatieve richting (richting zee);
- de grootste transporten optreden in het meest ondiepe deel van het profiel. Deze transporten zullen niet bijdragen aan de verliezen naar diep water aangezien de transporten zich beperken tot ca 200 meter uit de kust. Deze transporten zijn wellicht geen reële transporten aangezien UNIBEST-TC het transport in deze zone niet goed voorspelt.
- de verliezen naar diep water vrijwel nihil zijn.

De hydrodynamische condities waarmee de vier jaren zijn berekend is een gemiddeld jaar [Burger, 2003] waarin geen extreme stormen zijn opgetreden. Uit bovenstaande resultaten wordt geconcludeerd dat onder deze condities nauwelijks verliezen naar diep water optreden. De verwachting is dat grotere zandverliezen naar dieper water op kunnen treden indien zwaardere stormen voorkomen.

Uit de analyse van Witteveen & Bos en Koster Engineering (2006) blijkt dat grotere verliezen naar diep water kunnen ook worden afgeleid. Geconcludeerd wordt dat ca. 20 - 30 % van het aangebrachte zand vroeg of laat bijdraagt aan het zandvolume in de BKL zone. Een deel van het

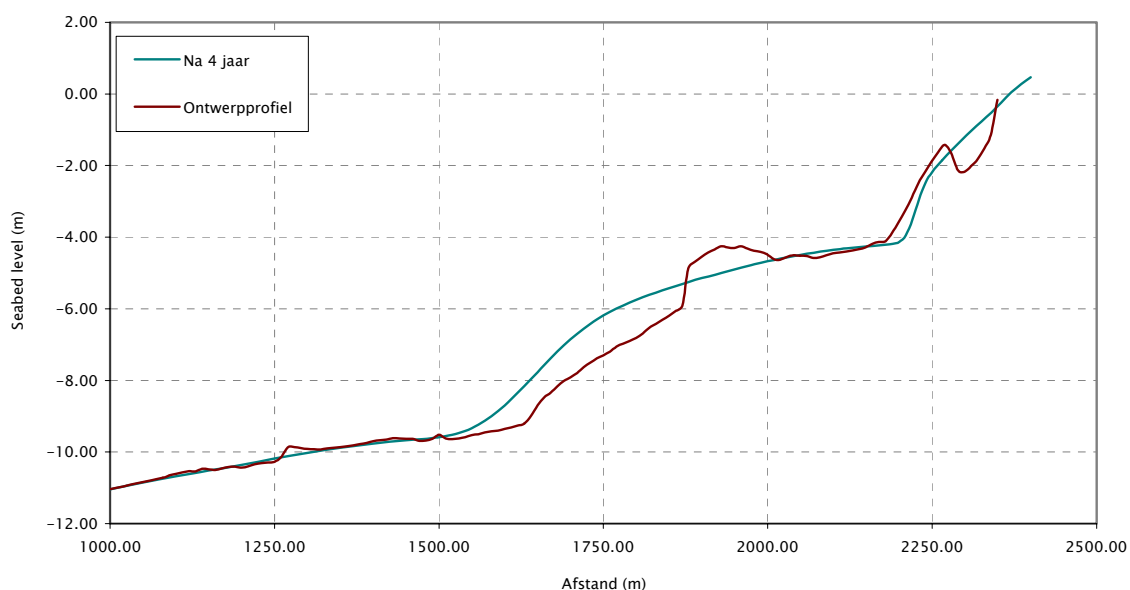
overige zand komt ten goede aan het kustfundament, wat betekent dat een groter verlies naar diep water optreedt dan met het UNIBEST-TC model wordt voorspeld.

Van aanlegprofiel naar ontwerpprofiel

Bij de analyse van Afbeelding 3-9 (ontwikkeling van de onderwatersuppletie in de tijd) is reeds geconstateerd dat het zandvolume aangelegd bij de onderwatersuppletie zich landwaarts en hoger in het profiel verplaatst. Uit Tabel 3-3 is tevens gebleken dat in het vierde jaar na aanleg van de suppletie het zandvolume in de ondiepe zone het zandvolume van de ontwerpraai benadert.

Om inzichtelijk te maken of het profiel na 4 jaar het ontwerpprofiel evenaart, zijn beide profielen in Afbeelding 3-9 weergegeven. Voor de vergelijking van de volumes die aanwezig zijn in het ontwerpprofiel en in het profiel na 4 jaar is het van belang om te weten wat initieel het volumeverschil is geweest tussen het aanleg- en het ontwerpprofiel. Deze volumes staan weergegeven in **Error! Reference source not found.** Hieruit blijkt dat het aanlegprofiel veel meer zand bevat dan het ontwerpprofiel. Dit komt o.a. doordat het ontwerpprofiel 'korter' is dan het aanlegprofiel (2350 m vs. 2400 m). Tevens is er bij het aanleggen van de suppletie meer zand neergelegd dan benodigd is voor het ontwerpprofiel, aangezien rekening is gehouden met verwachte optredende zandverliezen. Daarnaast bevat het aangelegde zandvolume ook een deel onderhoudszand.

Vergelijking ontwerpprofiel en profielontwikkeling na 4 jaar



Afbeelding 3-9: Vergelijking ontwerpprofiel met profielontwikkeling na 4 jaar

De profielontwikkeling na 4 jaar laat zien dat dit profiel het ontwerpprofiel benadert. De suppletie heeft zich over het gehele ondiepe traject verdeeld. In Tabel 3-3 is zichtbaar dat na het 4^{de} berekende jaar het volume in de ondiepe zone (onderste deel van BKL zone) groter is dan het volume in het ontwerpprofiel. Na het 4^{de} jaar benadert het profiel dus volgens de berekeningen van het model het ontwerpprofiel. Hierbij dient echter opgemerkt te worden dat bekend is dat modelvoorspellingen van het UNIBEST-TC model in het ondiepe deel (boven de NAP

- 3 meter) niet betrouwbaar zijn. Daarom is het mogelijk dat in werkelijkheid het langer) duurt (wellicht 2 x zo lang, dus 8 jaar) voordat het profiel het ontwerpprofiel benadert.

Tevens dient rekening gehouden te worden met het feit dat in het UNIBEST-TC model geen gradiënt in het langstransport is verwerkt. Naar verwachting is deze gradiënt in werkelijkheid wel aanwezig, waardoor zandverliezen op kunnen treden naar naastgelegen kustvakken. Door dit proces komt een kleinere hoeveelheid zand in het dwarsprofiel voor en zal het langer duren voordat het gemeten profiel het ontwerpprofiel benadert.

Een andere kanttekening die geplaatst dient te worden is de aanleglocatie/ methode. Bij deze voorbeeldraai bleek de benodigde suppletie niet inpasbaar tussen NAP -5 en -8 meter. Daarom is de suppletielocatie uitgebreid tot NAP -9,5 meter. Als blijkt dat bij het voorkeursalternatief deze situatie zich voordoet bestaat er een andere mogelijkheid om dit probleem te ondervangen. De suppletie kan namelijk gefaseerd aangelegd worden. Het aanbrengen van een kleinere suppletie resulteert wellicht in een kleiner verlies. Het is goed denkbaar dat het aanbrengen van een kleinere initiële onderwatersuppletie, waarbij rekening gehouden wordt met een kleiner verlies, uiteindelijk ook resulteert in het benaderen van het ontwerpprofiel.

Hoe het ontwerpprofiel daadwerkelijk aan zal worden gelegd is afhankelijk van een door de aannemer te kiezen uitvoeringsmethode.

Conclusie dwars sediment transport

De voorspelde verliezen naar diep water als gevolg van de aanleg van een onderwatersuppletie zijn gering. Uit onderzoek van Witteveen & Bos en Koster Engineering (2006) blijkt dat grotere verliezen naar diep water in werkelijkheid wel op kunnen treden.

Op basis van de resultaten van de modelberekening met UNIBEST-TC kan worden geconcludeerd dat onderwatersuppleties een effectieve methode zijn om de kust te versterken en verbreding van het profiel te bewerkstelligen. Evaluaties van onderwatersuppleties bij Ter Heijde door RIKZ bevestigen dit beeld.

3.3 Invloed afdekken strandhoofden op onderhoudsbehoefte

Inleiding

Langs de Delflandse kust ligt een groot aantal strandhoofden. In de inrichtingsalternatieven waarbij de kustlijn zeewaarts verschuift, zal een deel van deze strandhoofden (deels) onder het zand verdwijnen. In deze analyse wordt aangegeven welke functie de strandhoofden hebben, welke effecten het (deels) afdekken daarvan op deze functie heeft, en hoe de negatieve effecten van het afdekken gecompenseerd kunnen worden. Tevens wordt aandacht besteed aan andere factoren die van belang zijn voor de afweging voor het wel of niet verlengen van de strandhoofden.

Achtergrond

De Delflandse kust heeft van nature een erosief karakter en wordt daarom beschermd tegen achteruitgang. Van Rijn [1995] geeft een historisch overzicht van de maatregelen die door de eeuwen heen zijn genomen om de kust te beschermen. De eerste maatregelen dateren van de periode omstreeks 1500, waarbij houten en stenen constructies zijn gebouwd en vegetatie is

ingezet om erosie tegen te gaan. Na 1600 is bij Ter Heijde een zanddijk gebouwd. Deze dijk is meerdere malen vernietigd door stormen. De kustachteruitgang bedroeg in deze periode 3-5 m/jaar. Na de vloed van 1791 zijn bij Ter Heijde stenen strandhoofden aangelegd. Deze strandhoofden bleken effectief, de erosie nam af tot 0,5 m/jaar. In de periode 1968-1972 is de Noorderdam bij Hoek van Holland verlengd tot 4200 m. Deze dam blokkeert effectief het noordwaartse langtransport en veroorzaakt hierdoor erosie ten noorden van de dam. Om deze erosie tegen te gaan wordt in de Van Dixhoorndriehoek gesuppleerd, waarbij aangebrachte hoeveelheden zand groter zijn dan de optredende zandbehoefte. Dit heeft enerzijds tot gevolg een kustaangroei bij de Van Dixhoorndriehoek, en anderzijds een aanzanding van de meest zuidelijke strandhoofden tussen Hoek van Holland en Ter Heijde. Ten noorden daarvan treedt nog steeds erosie op die d.m.v. zandsuppleties wordt bestreden. De strandhoofden alleen kunnen de erosie dus niet tegenhouden.

Gegevens ligging Delflandse strandhoofden

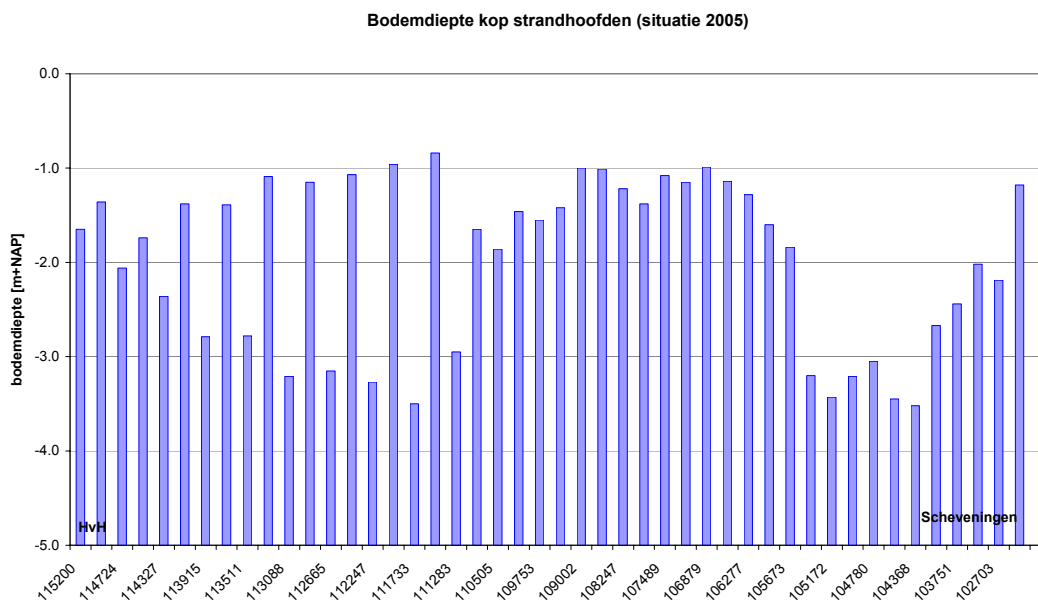
De ligging van de strandhoofden is globaal bepaald aan de hand van de Legger [Delfland, 1997]. Deze hoofden liggen tussen Hoek van Holland, RSP 115.30 en de havendam van Scheveningen, RSP 102.00. Ten noorden van Ter Heijde, vanaf RSP 111.30, hebben de strandhoofden een uniforme lengte van 180 meter vanaf de duinvoet. Ten zuiden van Ter Heijde zijn afwisselend twee lengtes toegepast, 180 meter en 280 meter. Er kunnen 6 trajecten worden onderscheiden, met verschillende karakteristiek (van noord naar zuid)

1. havendam Scheveningen tot Kijkduin (RSP 104.50): afstand 400 meter, lengte 180 meter;
2. Kijkduin: RSP 104.50 - 105.70: afstand 200 meter, lengte 180 meter;
3. Kijkduin - Solleveld, RSP 105.70 - 109.00: afstand 300 meter, lengte 180 meter;
4. Solleveld - Ter Heijde, RSP 109.00 - 111.50: afstand 300 meter, lengte 180 meter;
5. Ter Heijde - noordelijk einde Van Dixhoorndriehoek: RSP 111.50 - 115.30, afstand 200-250 meter, lengte afwisselend 180 meter en 280 meter;
6. Van Dixhoorndriehoek tot aan de Noorderdam: strandhoofden zijn afgedekt met zand door suppleties (mondelinge toelichting HHRS Delfland, deze hoofden zijn niet afgebeeld op de tekeningen in de Legger).

De bodemligging ter hoogte van de koppen van de strandhoofden (op basis van geïnterpoleerde Jarkusraaien 2005) is opgenomen in Afbeelding 3-10. In deze afbeelding is een duidelijk onderscheid te zien tussen de lange en de korte strandhoofden. De lange hoofden lopen door tot voorbij NAP -3 meter, korte tot ca. NAP -1,5 meter. Ook de hoofden bij Kijkduin lopen door tot NAP -3 meter.

De hoogte van bovenkant van strandhoofden varieert tussen ca. NAP 0 meter aan de zeezijde en NAP +3 meter aan de duinvoet (uit ontwerptekeningen uit 1925, beschikbaar gesteld door Hoogheemraadschap van Delfland).

Vanwege aanzanding van het zuidelijke deel van de Delflandse kust door suppleties zijn de strandhoofden deels ingezand, zodat hun effectieve lengte korter is dan de boven aangegeven aanleglengte.



Afbeelding 3-10: Verloop bodemhoogte bij de koppen van strandhoofden tussen Hoek van Holland en Scheveningen

Effectiviteit strandhoofden

Uit de uitgevoerde analyse van de morfologische ontwikkeling van de Delflandse kust kan worden geconcludeerd dat de kustlijn in stand wordt gehouden middels suppleties. Het effect van de strandhoofden is er erg moeilijk in te onderscheiden (er is geen vergelijkbare situatie zonder strandhoofden). Het erosieve karakter van een groot deel van deze kuststrook duidt echter aan dat de werking van strandhoofden zeker niet optimaal is, aangezien de Delflandse kust met zandverliezen van zo'n 0,3 - 0,5 Mm³ per jaar kampt.

Ontwerpaspecten strandhoofden

Strandhoofden dienen om de kusterosie tegen te gaan. Hun werking is gebaseerd op het onderbreken van de brandingsstroom waardoor het langstransport in de brandingszone wordt gereduceerd, en het verder uit de kust houden van de getijstrooming. Voorbij de koppen van strandhoofden versteilt het profiel omdat de zandvraag door het langstransport niet wordt beïnvloed.

De ontwerpaspecten van strandhoofden worden in algemene termen in het Basisrapport Zandige Kust [TAW,1995] besproken. Belangrijke aspecten zijn: lengte, onderlinge afstand, hoogteligging, enz. Er worden echter geen concrete aanbevelingen t.a.v. ontwerp gegeven. Op basis van de evaluatie van strandhoofden langs de Nederlandse kust wordt gesteld dat de strandhoofden die getijstrooming moeten geleiden, effectief zijn. Daarentegen blijkt dat de strandhoofden die de brandingsstroom moeten reduceren, minder goed werken. De Delflandse strandhoofden moeten zowel de door de golven opgewekte brandingsstroom als de getijstrooming uit de kust houden, ze vallen dus ergens midden tussen deze twee categorieën in. In [TAW,1995] wordt aanbevolen om geen nieuwe strandhoofden aan te leggen maar de reeds liggende strandhoofden niet af te breken.

In [Van Rijn, 1998] worden enkele handvatten m.b.t. ontwerp voor strandhoofden in getijcondities gegeven:

1. kruin bij de duinvoet iets beneden strandhoogte; de kop ca. 0,5 meter boven laagwater lijn;
2. hoogte kop strandhoofd boven zeebed ca. 1 meter;
3. afstand tussen de hoofden tussen 3 en 4 keer de lengte om de muistromen en daarmee gepaard gaande erosie te voorkomen;
4. de kop steekt tot in de brandingszone om het zand te laten passeren;
5. voor de Nederlandse kust: lengte 100 tot 200 meter.

De positie van de brandingszone is afhankelijk van de golfhoogte/diepte verhouding ($H_{br}/d=0,6$). Bij een storm zal deze zone verder zeewaarts liggen dan bij de dagelijkse golfcondities. Het merendeel van langstransport zal optreden buiten de -4 meter NAP lijn. De relatief korte strandhoofden tot -2 meter NAP zullen dan weinig effectief zijn. Ze zullen wel effectief zijn bij de dagelijkse condities waarbij zo'n 50% van het jaarlijkse langstransport optreedt. Uitgaande van 50% effectiviteit bij deze condities zullen zulke strandhoofden ca. 25% van het transport tegenhouden (Van Rijn, 1998).

De Delflandse strandhoofden hebben een hoogte van ca. NAP +3 meter bij de voet (-gelijk aan het strandniveau), en ca. NAP 0 meter aan de kop (-0,7m boven GLW). Aan de voorwaarde (1) wordt dus in principe voldaan. Voorwaarde (2) betekent dat de bodem bij de kop op ca. -1,2 meter NAP zou moeten liggen. Dit geldt voor het merendeel van korte strandhoofden, de diepte bij de koppen van de lange strandhoofden bij Ter Heijde is groter (ca. NAP -3,5meter). De afstand / lengte verhouding varieert langs de Delflandse kust tussen 1,7 en 2,2 voor de strandhoofden ten noorden van Ter Heijde. Ten zuiden van Ter Heijde liggen afwisselend korte en lange strandhoofden, de verhouding toegepast op uitsluitend de lange hoofden bedraagt 1,7 (bij een aanname dat deze hoofden domineren over de korte, deels ingezande hoofden), deze verhouding is dus voldoende of groter dan minimaal nodig is. De hoogte van de kop ligt tussen het laag en hoog water, ook aan deze voorwaarde wordt voldaan. De (korte) strandhoofden steken echter in de meeste gevallen niet verder dan tot NAP - 1 à 1,5 meter contour. Deze kribben liggen dus in de brandingszone alleen bij kleine golven en leveren een vrij bescheiden bijdrage aan het vasthouden van het zand. De 280 meter lange strandhoofden bij Ter Heijde zijn daarentegen wel voldoende lang om effectief te zijn.

In een memo [Uitwaterende Sluizen, 2001] waarin de werking van de Noord-Hollandse strandhoofden is beoordeeld, wordt verder gesteld dat strandhoofden in ieder geval langer moeten zijn dan het afslagprofiel. Alleen dan blijft het zand dat tijdens storm wordt afgeslagen buiten bereik van de brandingstroom en verdwijnt niet uit het vak tussen twee strandhoofden. Uitgaande van het theoretisch afslagprofiel volgens "Leidraad voor beoordeling van de veiligheid van duinen als waterkering" [TAW, 1984] geldt voor de lengte daarvan:

$$x=250(H_0s/7,6)^{1,28} (0,0268/w)^{0,56}$$

waarbij x=lengte afslagprofiel, H_0s =significante golfhoogte op diep water, w=valsnelheid. Voor karakteristieke korreldiameter Delflandse kust ($D_{50}=220 \mu m$), en een zware storm met $H_s=6m$ volgt voor de lengte afslagprofiel $L=200$ meter. Bij de bepaling van de lengte van het strandhoofd (vanaf de duinvoet) moet verder rekening worden gehouden met de inscharing van de stroming (1:7) waardoor de effectieve lengte van het hoofd afneemt. Bij de onderlinge afstand tussen de

hoofden van ca. 200 meter neemt de effectieve lengte hierdoor met ca. 30 meter af. Volgens deze benadering bedraagt de minimale lengte van een strandhoofd voor de Delflandse kust 230 m. De strandhoofden tussen Scheveningen en Ter Heijde hebben een lengte van 180 meter; de koppen daarvan steken tot tussen NAP -1 en -2 m contour. Deze strandhoofden zullen daarom slechts gedeeltelijk effectief zijn. De strandhoofden tussen Ter Heijde en Hoek van Holland hebben afwisselend een lengte van 180 m en 280 meter. De kortere hoofden steken tot NAP -1,5 m dieptecontour, de langere tot tussen NAP -3,5 en -3 meter. De kortere hoofden dragen om die reden nauwelijks bij aan de erosiebescherming, de langere hoofden hebben echter voldoende lengte om het weggeslagen zand binnen het vak te houden.

Toekomstige ontwikkelingen

Na de uitvoering van de kustversterking zal de kustlijn zeewaarts verschuiven. De afstand is afhankelijk van het gekozen alternatief en de concrete uitwerking ervan. Hieronder wordt per alternatief een globale beschouwing van de consequenties van dat alternatief voor de strandhoofden gegeven.

Effect alternatieven

Duincompensatie PMR

De 35 ha duincompensatie volgens Figuur 3.1 in het Programma van Eisen versie 6.0 wordt uitgevoerd grofweg tussen RSP 114.0 en 117.5. De strandhoofden liggen noordwaarts van RSP 115.0 zodat de duincompensatie invloed zal hebben op 7 strandhoofden tussen RSP 114 en 115. De kustlijn zal met maximaal 180 meter zeewaarts verschuiven zodat al deze strandhoofden praktisch onder zand zullen verdwijnen en hun effectiviteit volledig verliezen. Meer naar het noorden gaat de duincompensatie over in de kustversterking vanwege veiligheidsopgave. Doordat de kustlijn wordt gestrekt zal de nu aanwezige "knik" verdwijnen waardoor de onderhoudsbehoefte van dit stuk kust zal afnemen (de gradiënt in het langtransport neemt immers af). In memo Alkyon (2004), opgenomen als bijlage 1 in het Programma van Eisen voor natuurcompensatie aanwinning Maasvlakte-2 (PMR-U, 2004), wordt beredeneerd dat de onderhoudsbehoefte van de Delflandse kust hierdoor met ca. 50.000 m³/jaar zal afnemen. De strandhoofden in deze zone hebben nu toch nauwelijks een erosiebeschermende functie (ze liggen in de depositiezone), zodat het afdekken ervan geen nadelige invloed zal hebben (dwz. niet tot toename van erosie zal leiden).

Zeewaarts verbreden

De kustlijn verschuift in dit alternatief zeewaarts over praktisch de hele lengte van de Delflandse kust. De mate van deze verschuiving varieert afhankelijk van de locatie omdat gestreefd is naar een optimale kustboog waardoor erosie geminimaliseerd wordt. De forse zeewaartse kustlijnverschuiving in de PMR duincompensatie zone wordt vloeiend voortgezet tot Ter Heijde waardoor de "knik" in de kustlijn wordt weggehaald. Hierdoor verdwijnen 8 strandhoofden volledig onder het zand. Door de verlegging van de kustlijn tussen Solleveld (km 111) en de havendam van Scheveningen verdwijnen ook de strandhoofden op dat traject grotendeels onder het zand. Alleen de strandhoofden tussen km 104,6 en 103 blijven deels onafgedekt.

Deze verandering betekent dat praktisch alle hoofden hun functie zullen verliezen en geen bijdrage meer (voor zover nu nog aanwezig) aan de bescherming tegen erosie zullen leveren.

Royaal zeewaarts verbreden

In dit alternatief wordt uitgegaan van een zeewaartse kustlijn verschuiving van 100 meter tot 300 meter. Hierdoor worden praktisch alle strandhoofden praktisch afgedekt.

Verhoogde duinen

Bij dit alternatief worden de strandhoofden alleen ter plaatse van het duincompensatiegebied afgedekt. Door de strandverbreding die wordt uitgevoerd, ter bevordering van natuurlijke duinaangroei wordt langs de rest van de kust ook een deel van de strandhoofden verder afgedekt. De invloed van het afdekken is bij dit alternatief dus het kleinst.

Invloed klimaatverandering

Door de klimaatverandering stijgt de zeespiegel. Hierdoor komen de koppen van de strandhoofden steeds dieper te liggen waardoor hun effectiviteit langzaam af zal nemen.

Invloed op onderhoudsbehoefte

In het voorgaande is aangetoond dat de strandhoofden in de huidige situatie niet aan de huidige inzichten omtrent ontwerpeisen voldoen, en daarmee geen afdoende middel zijn ter bescherming tegen kusterosie. De hoofden zullen echter wel enige positieve invloed hebben op stabiliteit van de kust. Het verdwijnen daarvan kan dus tot toename van het benodigde kustonderhoud leiden. De mogelijke negatieve effecten van het afdekken van de strandhoofden op de Delflandse kust hebben betrekking op het traject tussen Scheveningen en het begin van de duincompensatiegebied. De effecten van het (deels) afdekken van strandhoofden voor het kustonderhoud zijn moeilijk te kwantificeren. In memo "De functie van strandhoofden langs de Noord-Hollandse kust" (Uitwaterende Sluizen, 2001) is voor de Noord-Hollandse strandhoofden aangenomen dat bij het verwijderen daarvan het kustonderhoud met 50 tot 100% zal toenemen. Voor de Delflandse kust zou dit een toename van kustonderhoud (geschat op 0,2 Mm³/jaar voor het beïnvloede traject) met 0,1 tot 0,2 Mm³/jaar betekenen⁵. Aan de andere kant, in alle alternatieven wordt de kustlijn geoptimaliseerd zodat er in totaal minder erosie op gaat treden. Bovendien wordt initieel de kust overgesuppleerd zodat een herverdeling van zand binnen het kustvak tussen de dammen van Hoek van Holland en Scheveningen zal optreden en op den duur een nieuw evenwicht gaat ontstaan. Het afdekken van strandhoofden kan dan nog steeds lokaal tot (toename van) erosie leiden, deze lokale erosie hoeft echter niet noodzakelijk tot de reactie in de vorm van onderhoudssuppletie te leiden. Op langere termijn zal dit mogelijk nadelige effect wegvallen tegen het effect van de zeespiegelstijging (m.a.w. op lange termijn is er geen verschil tussen het wel of niet afdekken van de strandhoofden). Het effect is onzeker, daarom wordt voorgesteld om er alleen in de onzekerheidsmarge rekening mee te houden.

Conclusie invloed alternatieven

Het effect van het afdekken van strandhoofden kan tot een toename van erosie en daarmee van de onderhoudsbehoefte. Het effect daarvan is onzeker en wordt geschat op 0 - 50% toename van de huidige onderhoudsbehoefte (situatie nu) van de Delflandse kust waarbij (vanwege optimalisatie van de kustlijn) waarschijnlijk het effect vrij beperkt zal zijn. Voorgesteld wordt

⁵ Een toename van onderhoudsbehoefte met 0,2 Mm³/jaar dient als een absoluut maximum te worden beschouwd. Optredende erosie kan nl. niet groter zijn dan het zandtransport dat voor dit kustvak eveneens ca. 0,2 Mm³/jaar bedraagt.

om met dit effect alleen in de onzekerheidsmarge rekening mee te houden. Op lange termijn valt dit effect weg tegen het effect van de zeespiegelstijging (autonome ontwikkeling).

De mate waarin de strandhoofden worden afgedekt is verschillend per alternatief. Bij het alternatief "royaal zeewaarts verbreden" zal dit effect het grootst zijn, en bij het alternatief "verhoogde duinen" het kleinst. De onzekerheid omtrent de grootte van dit effect is echter dermate groot dat de *alternatieven op dit punt niet onderscheidend zijn*.

Afweging opties m.b.t. strandhoofden

Er zijn twee principiële opties voor de Delflandse kust:

1. het accepteren van het afdekken van de strandhoofden
2. het verlengen van de strandhoofden

De kostenschatting voor het verlengen van de strandhoofden zijn gebaseerd op de kostenschattingen voor de Noord-Hollandse strandhoofden. De kosten van een 200 meter lange strekdam bedragen circa €3 miljoen. Grof benaderd betekent dat ca. € 15.000/meter strandhoofd. Een strandhoofd heeft bij benadering een driehoekige langsdoorsnede, waarbij aan het zeewaartse uiteinde veel meer materiaal zit dan aan het landwaartse uiteinde. Het verlengen gebeurt aan de zeewaartse kant, waar het meeste materiaal zit. Bovendien zullen de strandhoofden met zo'n 0,5 m moeten worden verhoogd om de invloed van de zeespiegelstijging te compenseren. De kosten van aanpassing (verlengen en verhogen) van een strekdam komen daarmee op circa €30.000,-/meter. Tussen Hoek van Holland en Scheveningen liggen 47 strandhoofden. De aanleg van de PMR duincompensatie (35 ha) heeft betrekking op 7 strandhoofden. Door de gunstige verandering van de kustlijn worden hier geen nadelige effecten (toename van erosie) verwacht. De overige strandhoofden zullen hun functie (gedeeltelijk of volledig) bij het (royaal) zeewaarts verbreden verliezen. Stel dat elk strandhoofd met gemiddeld 30 meter moet worden verlengd om z'n huidige (niet optimale) werking te herstellen, dan bedragen de kosten van zo'n operatie ca. $40 \times 30 \times €30.000 = € 36$ miljoen. Bij royaal zeewaarts verbreden zal de noodzakelijke verlenging nog aanzienlijk groter zijn (ca. 100 meter), de kosten daarvan zullen ca. € 120 miljoen bedragen. De kosten van het extra kustonderhoud, uitgaande van de conservatieve schatting van de mogelijke 50% stijging van de suppletiebehoefte, zullen pas na ruim 200 jaar de kosten van verlenging overstijgen.

Hierbij dient te worden bedacht dat het probleem van erosie en de noodzaak van suppleties niet wezenlijk veranderen. In het huidige beleid wordt voorkeur gegeven aan de "zachte" oplossingen, daar hoort het verlengen van harde constructies niet bij. Bij de verwachte veranderingen in het klimaat kan met de zachte maatregelen makkelijker worden ingespeeld op de nieuwe situatie dan met de starre constructies.

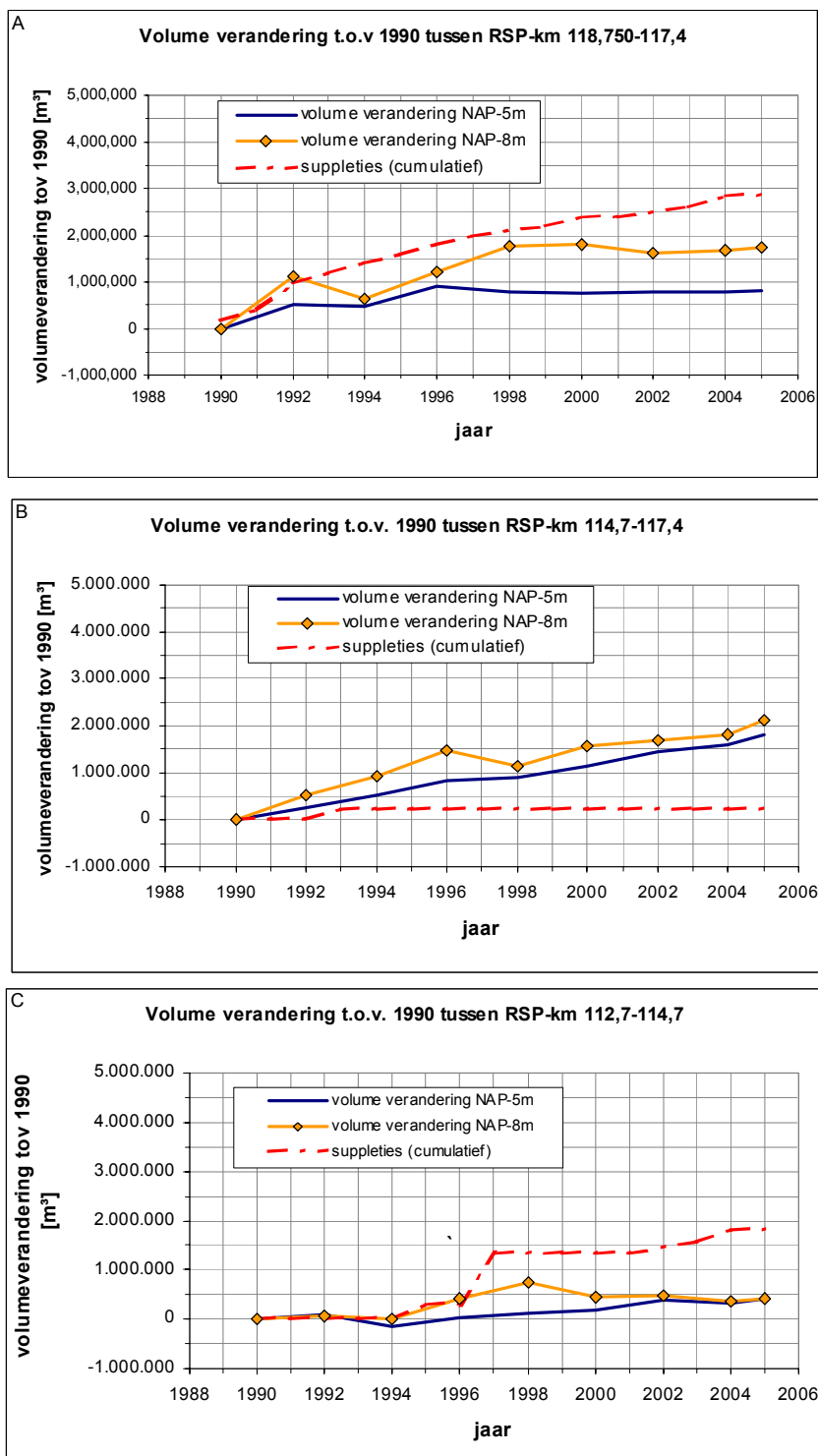
Bij de afweging dient ook het aspect van veiligheid voor recreatie te worden meegenomen. Strandhoofden veroorzaken sterke muistromen. Deze vormen gevaar voor zwemmers. Door de reductie van de effectieve lengte zullen deze stromingen in sterkte afnemen, en daarmee zal de veiligheid voor de recreanten toenemen.

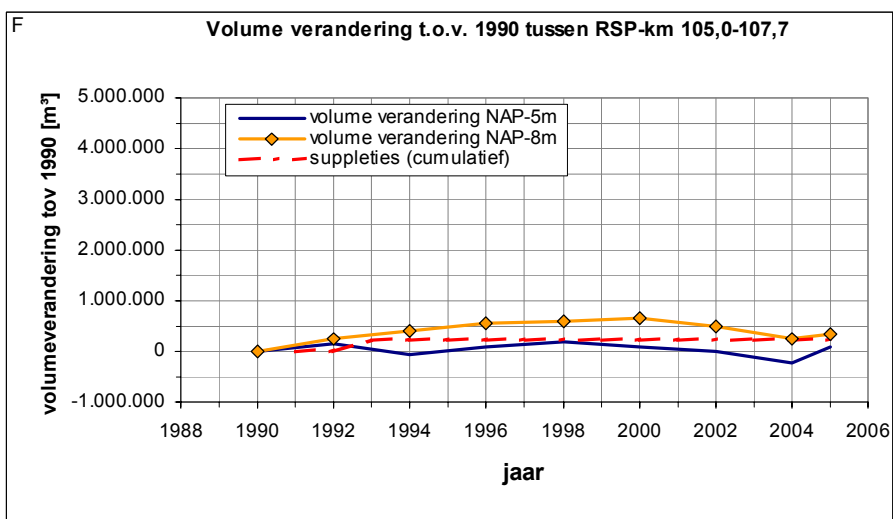
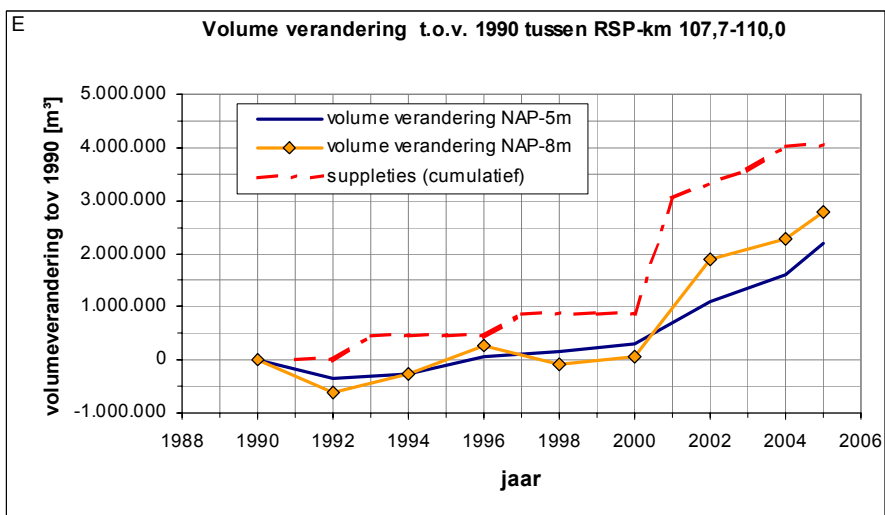
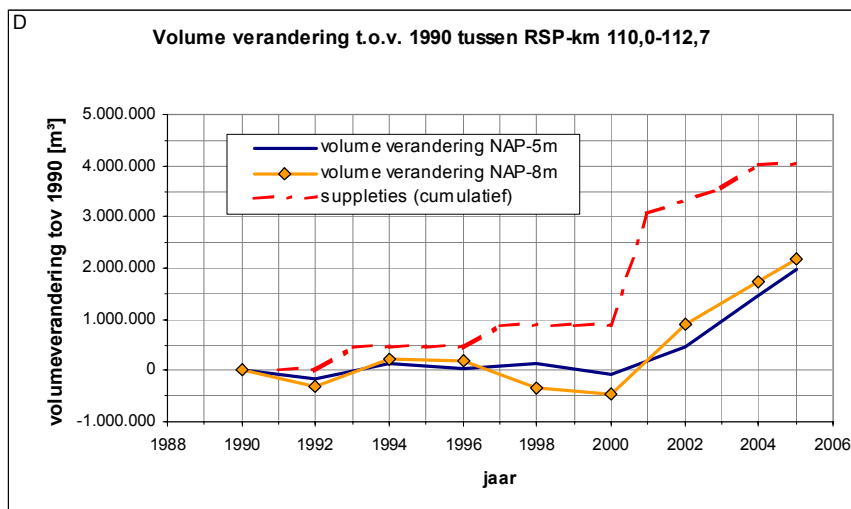
Op basis van het bovenstaande wordt geadviseerd om het (gedeeltelijk) verlies van effectiviteit van de Delflandse strandhoofden te accepteren en deze strandhoofden niet te verlengen. De mogelijke negatieve effecten op stranderosie kunnen worden gecompenseerd door extra zand te suppleren.

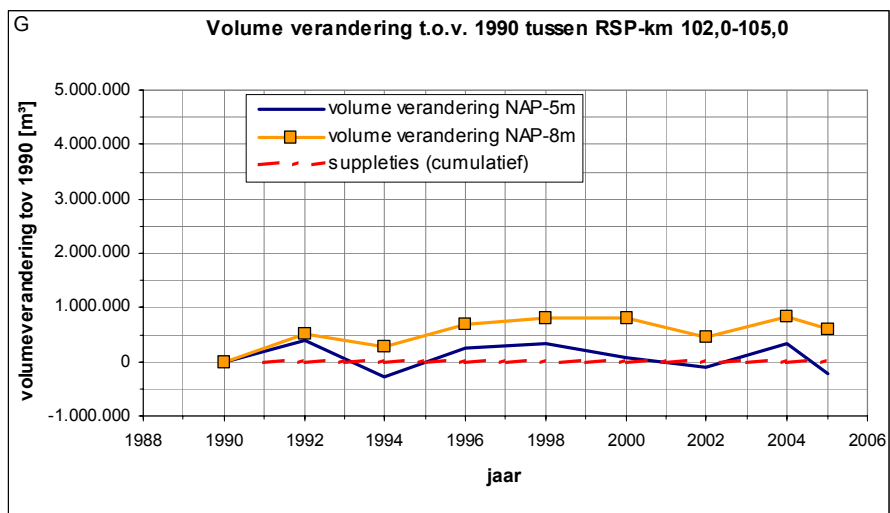


DHV BV
H+N+S landschapsarchitecten
Alterra

Resultaten morfologische analyse volumeveranderingen







BIJLAGE 3 Resultaten afslagberekeningen

1 Inleiding

In deze bijlage zijn de uitgangspunten en rekenresultaten gepresenteerd van de uitgevoerde berekeningen voor de MER voor de Delflandse kust. Het betreft hier slechts een opsomming en een korte toelichting van de resultaten.

De bijlage is als volgt opgebouwd:

- In paragraaf 2 is een toelichting gegeven van de toegepaste rekenmodellen;
- In paragraaf 3 zijn enkele uitgangspunten nader toegelicht;
- In paragraaf 4 zijn de rekenresultaten gepresenteerd van de berekening van de huidige veiligheid en benodigde versterking om voldoende veiligheid te waarborgen;
- In paragraaf 5 zijn de rekenresultaten gepresenteerd van de berekening van de benodigde versterking ter hoogte van de duinvoetverdediging van Ter Heijde.

2 Toegepaste rekenmodellen

2.1 Duinafslag bij zandige profielen

Inleiding

Voor het daadwerkelijke rekenwerk is gebruik gemaakt van de, op [TAW, 1984] gebaseerde, Alkyon-rekenroutine voor DuinAfslag. Deze routine is mede ontwikkeld in het kader van een RIKZ-opdracht om de effecten van gewijzigde randvoorwaarden voor de gehele Nederlandse kust in kaart te brengen en is ook gebruikt voor het zogenaamde VNK-rekeninstrumentarium (programma PC-RING; project Veiligheid van Nederland in Kaart). De met dit model verkregen resultaten komen (bij gelijke uitgangspunten) overeen met die van het bij verschillende waterschappen in gebruik zijnde WINKUST-model. Het, reeds in meerdere projecten ingezette, rekenmodel werkt met platform-onafhankelijke ASCII-tabellen als in- en uitvoer en levert onder andere EXCEL-bestanden en -figuren als resultaat.

2.1.2 Toeslagpercentages t.b.v. langere golfperiode

Inleiding

Als gevolg van verzwaarde randvoorwaarden zal de mate van duinafslag wijzigen en daardoor effect hebben op de positie van het afslagpunt. Deze zal in principe verder landwaarts komen te liggen. Dit kan ook effecten hebben op de uiteindelijke beoordeling van het duinprofiel; het duin kan daarmee zelfs onveilig worden.

De verzwaarde randvoorwaarden hebben dus betrekking op een toename in de golfperiode. Voor de Delflandse kust bedraagt deze 13,7 tot 14,4 s in plaats van de thans gebruikelijke 12,0 s.

Omdat de golfperiode geen directe rol speelt in het huidige (oorspronkelijke) rekenmodel voor duinafslag [TAW, 1984] wordt dit effect (conform de eerdere beheerdersoordelen in 2003) in rekening gebracht door uit te gaan van een voorgeschreven toename in de mate van duinafslag.

Deze toename is gerelateerd aan de relatieve toename in de golfperiode en varieert voor de Delflandse kust van 35% (bij Hoek van Holland) tot orde 40% bij Scheveningen.

Mutaties in de golfperiode

Per individuele kustraai is de afslagtoename vastgesteld door uit te gaan van de voor de beheersoordelen voorgeschreven mutaties in de golfperiode.

Relevante golfperioden zijn in dit geval: Scheveningen (km 97.50) met $T_p = 14,4$ s en Hoek van Holland (km 118.50) met $T_p = 13,7$ s. Per kustraai is de te gebruiken T_p -waarde door interpolatie vastgesteld.

Vaststelling basistoelage (ontwerpomstandigheden)

De grootte van de toeslag voor ontwerpomstandigheden (de zogenaamde basistoelage) is in principe afhankelijk van de toename in de golfperiode.

Gegeven de T_p -waarde (en daarbij ook de toename in de piekperiode: $\Delta T_p = T_p - 12,0$ s) volgt de grootte van de afslagtoename ΔA (in %) uit de relatie:

$$\Delta A = a (\Delta T_p)^b + 20 \%$$

De eerste term heeft hierbij betrekking op het direct aan de periode-toename gerelateerde deel (zie Alkyon-studie A963 naar het effect van de gewijzigde hydraulische condities op de mate van duinafslag); het tweede deel heeft betrekking op de onzekerheidstoelage van 20 % (zie ook DWW-2003-040 van maart 2003). De a - en b -parameter zijn hierin zodanig gekozen dat de afslagtoename bij Den Helder 50% en bij Hoek van Holland 35 % bedraagt (conform figuur 14 uit [DWW-2003-040]). Hierbij geldt $a = 10,6$ en $b = 0,65$. Voor Delfland varieert deze (basis)toelage tussen de 35,0 en 38,7 %.

Het afslagvolume voor de verzwaarde toetscondities ligt daarbij op voorhand vast. Met het eerder genoemde Alkyon-rekenmodel is het mogelijk om de voor een dergelijke afslagtoename benodigde correctie (afname) van de korreldiameter eenvoudig uit te rekenen. Gegeven het flauwere dwarsprofiel zijn dan ook de posities van het kritieke (verzwaarde) grensprofiel te kwantificeren. Deze liggen in principe verder landwaarts dan voor de vigerende condities (conform HR2001).

Het effect van het toepassen van de verzwaarde randvoorwaarden op de ligging van het afslagpunt is dat deze landinwaarts verschuift. De (reserve)afstand tussen het kritieke afslagpunt en het afslagpunt neemt daarbij af.

Vaststelling benodigde duinversterkingen

Het rekenmodel is voorzien van mogelijkheden om het duinprofiel te versterken.

Deze versterkingen kunnen nodig zijn om:

- Via een achterwaartse aanvulling te komen tot een uit veiligheidstechnisch oogpunt benodigde versterking;
- Via een voorwaartse versterking te komen tot een zodanig profiel dat er wordt voldaan aan een zekere ligging van het afslagpunt.

2.2 Afslag bij (deels) verharde profielen

Beschrijving van het model

Voor het bepalen van de afslag tijdens ontwerpcondities in situaties waarbij doorgaande afslag wordt gelimiteerd door een harde waterkering, is het tijdsafhankelijke dwarstransportmodel DUROSTA toegepast. Aan de hand van hydraulische randvoorwaarden, welke op de zeewaartse rand van het model zijn opgelegd, berekent dit model de golfvoortplanting richting de kust en de daaruit volgende zeewaarts gerichte sedimenttransporten. Op basis van gradiënten in het dwarstransport wordt vervolgens de verandering van het kustprofiel berekend. Deze berekeningen zijn nodig om voor elk van de JARKUS-raaien de resterende golfcondities ter plaatse van de teen van de dijk te kunnen berekenen.

Voor de modelberekeningen zijn de volgende randvoorwaarden toegepast:

- Gemeten dwarsprofielen voor het jaar 1998 (MKL=BKL, zie ook bijlage 1) uit de JARKUS-bestanden. Deze gemeten profielen zijn in zeewaartse richting tot aan de geul verlengd met gegevens uit het Kuststrookmodel (dat is het RWS-model voor het berekenen van getijstroming langs de Hollandse kust);
- Huidige hydraulische randvoorwaarden uit [Rijkswaterstaat, 2001];
- Verzwaarde hydraulische randvoorwaarden volgens tabel 2.3 (uit hoofdrapport);
- Het verloop van waterstand en golfcondities volgens relaties uit [Alkyon, 1999];
- Rekenkorrelgrootte D50 volgens [TAW, 1984].

De duinvoetverdediging bij Ter Heijde is als een gefixeerde laag in het rekenmodel gebracht. Dat betekent dat er geen afslag achter deze laag wordt berekend. De positie van de harde zeewering is bepaald aan de hand van beschikbaar kaartmateriaal.

In de berekeningen met Durosta is geen rekening gehouden met eventuele erosie als gevolg van een gradiënt in het langstransport (Durosta biedt wel die mogelijkheid).

Vaststelling benodigde versterkingen

Het rekenmodel is voorzien van mogelijkheden om het duinprofiel te versterken. Hierbij is uitgegaan van een zeewaartse versterking. De toegepaste procedure is als volgt:

- 1) Een serie profielen aan met steeds iets meer extra zand (in stappen van 10 meter zeewaartse verschuiving van het duin) worden aangemaakt;
- 2) Voor elk van de versterkte profielen wordt vervolgens een berekening met DuroSTA uitgevoerd;
- 3) Als resultaat uit elke berekening volgt een golfhoogte bij de constructie en een diepte van de ontgrondingskuil;
- 4) Uit de reeks van rekenresultaten wordt vervolgens het versterkte profiel dat leidt tot een net voldoende veilige situatie bij de constructie (in termen van golfhoogte en ontgrondingsdiepte).

3 Toegepaste randvoorwaarden

Inleiding

De toe te passen randvoorwaarden voor de uitvoering van de berekeningen staan beschreven in de randvoorwaardennotitie zoals opgesteld door DHV (inhoud notitie zie bijlage 1). In deze paragraaf wordt op een aantal uitgangspunten nader ingegaan.

Aanpassing van (te) korte profielen

Normaliter bevat het gemeten dwarsprofiel het duin en het onderwaterprofiel tot ongeveer NAP - 8 m. Op een aantal locaties is het profiel echter niet voldoende ver landwaarts of zeewaarts beschikbaar. Deze profielen zijn slecht bruikbaar voor de uitvoering van de afslagberekeningen. Om dit te ondervangen is het profiel in landwaartse en zeewaartse richting verlengd:

- in landwaartse richting is het profiel met 1000 meter verlengd op een constant niveau van NAP;
- in zeewaartse richting is het profiel met 1000 meter verlengd met een constante helling van 1 op 200.

In de meeste gevallen kan worden volstaan met het gemeten profiel. In een enkel geval was verlenging van het profiel echter noodzakelijk.

3.3 Vorm van het versterkte profiel

Bij een landwaartse versterking wordt uitgegaan van een versterking tot het niveau van het grensprofiel:

$$h_{\text{grensprofiel}} = \text{Rekenpeil} + 0,12 \cdot T_p \cdot H_{\text{sig}}^{0,5}$$

Aan de landwaartse zijde hiervan wordt aangesloten op het bestaande profiel door middel van een helling van 1 op 3.

Ook bij een zeewaartse versterking wordt een versterking toegepast op het niveau van het grensprofiel. Indien het eerste duin echter lager is dan het grensprofiel-niveau, wordt een hoogte gelijk aan het eerste duin toegepast. Het gehele dwarsprofiel (tot een diepte van NAP - 5 m) wordt vervolgens in zeewaartse richting opgeschoven. Aan de hand van modelberekeningen wordt bepaald hoever het profiel verschoven dient te worden.

3.4 Vaststelling van versterkingsvolume

Voor het waarborgen van de veiligheid of voor het behouden van het huidige (vigerende) afslagpunt zal in het rekenmodel zand worden toegevoegd aan het profiel. De toegevoegde zandvolumes zijn in tabellen gepresenteerd.

Let wel: Het gepresenteerde zandvolume is exclusief het meestijgen van de bodem.

4 Resultaten berekening van de huidige veiligheid en benodigde versterking

4.1 Inleiding

Alvorens de verschillende alternatieven kunnen worden uitgewerkt, dienen de locaties te worden bepaald waar het dwarsprofiel niet aan de gestelde eisen met betrekking tot veiligheid voldoet. Daar waar het profiel niet voldoet, is vervolgens het benodigde zandvolume berekend dat nodig is om alsnog aan de eisen te voldoen. Hierbij is uitgegaan van ofwel een landwaartse of een zeewaartse versterking. De rekenresultaten zijn samengevat in overzichtstabellen. Een korte toelichting op de tabellen is in de nu volgende paragrafen gegeven.

4.2 Bespreking van de resultaten, veiligheid

In Tabel 3-4 is een samenvatting gegeven van de rekenresultaten met betrekking tot veiligheid. Voor elk van de dwarsprofielen zijn afslagberekeningen uitgevoerd. Berekeningen zijn uitgevoerd voor de huidige situatie (vigerende randvoorwaarden) alsmede de klimaatscenario's I, II, III en IV (zie blz 20). Links in de tabel staat het oordeel met betrekking tot de veiligheid. Wanneer er in een cel "voldoet niet" staat, betekent dit dat dit profiel voor het betreffende scenario niet aan de veiligheidseisen voldoet. Een lege cel betekent dat het profiel wel aan de eisen voldoet. Rechts in de tabel staat de berekende positie van het afslagpunt (op maaiveldniveau) gegeven voor de gevallen waarbij het dwarsprofiel wel aan de veiligheidseisen voldoet.

4.3 Bespreking van de resultaten, benodigde versterking

Er zijn een drietal versterkingsscenario's gedefinieerd:

- 1) Versterken aan landwaartse zijde om aan de veiligheidseisen te voldoen;
- 2) Versterken aan zeewaartse zijde om aan de veiligheidseisen te voldoen;
- 3) Versterken aan zeewaartse zijde om het huidige afslagpunt (volgens de vigerende randvoorwaarden) te consolideren.

In Tabel 3-5 tot en met Tabel 3-7 is een samenvatting gegeven van de rekenresultaten. In het nu volgende is een korte toelichting gegeven op deze resultaten.

Alternatief 1, landwaarts versterken voor veiligheid

In Tabel 3-5 staan achtereenvolgens de volgende rekenresultaten gegeven:

- Links in de tabel is het berekende afslagpunt gegeven. Dit afslagpunt komt in de gevallen dat de veiligheid niet in het geding was overeen met het gegeven afslagpunt in Tabel 3-4. In de overige gevallen betreft het het afslagpunt nadat aan landwaartse zijde van het profiel zand is toegevoegd.
- In het middendeel van de tabel is de berekende kruinbreedte van de aangebrachte versterking gegeven.
- In het rechter deel van de tabel is het aangebrachte zandvolume gegeven.

Alternatief 2, zeewaarts versterken voor veiligheid

In Tabel 3-6 staan achtereenvolgens de volgende rekenresultaten gegeven:

- Links in de tabel is het berekende afslagpunt gegeven. Dit afslagpunt komt in de gevallen dat de veiligheid niet in het geding was overeen met het gegeven afslagpunt in Tabel 3-4;
- In de overige gevallen betreft het het afslagpunt nadat aan zeewaartse zijde van het profiel zand is toegevoegd;
- In het midden deel van de tabel is de berekende verschuiving van het duinprofiel gegeven;
- In het rechter deel van de tabel is het aangebrachte zandvolume gegeven.

Alternatief 3, zeewaarts versterken voor consolideren

In Tabel 3-7 staan achtereenvolgens de volgende rekenresultaten gegeven:

- Links in de tabel is het berekende afslagpunt gegeven. Dit is slechts ter controle aangezien de positie van het afslagpunt als invoergegeven is gebruikt;
- In het midden deel van de tabel is de berekende verschuiving van het duinprofiel gegeven;
- In het rechter deel van de tabel is het aangebrachte zandvolume gegeven.

5 benodigde versterking ter hoogte van de duinvoetverdediging van Ter Heijde

5.1 Inleiding

Ter hoogte van Ter Heijde is een duinvoetverdediging aangebracht in het duin. Momenteel is deze verdediging volledig bedekt met zand, maar tijdens zeer zware stormcondities zal de verdediging bloot komen te liggen en aangevallen worden door golven. Er zijn twee faalmechanismen van de verdediging denkbaar:

- 1) Falen als gevolg van algehele instabiliteit (als gevolg van een te diepe ontgrondingskuil);
- 2) Falen als gevolg van constructieve instabiliteit (stenen die uit de glooiing worden gelicht).

Ad 1.)

Tussen RSP 109,8 en 111,2 ligt de teen van de constructie op NAP +0,70 m. Tussen RSP 111,2 en 112,2 ligt de teen van de constructie op NAP -1 m. Wanneer de teen van de constructie bloot komt te liggen als gevolg van ontgroning, zal de algehele stabiliteit van de duinvoetverdediging in het geding komen. Bij het opstellen van de eerste alternatieven is aangenomen, dat de ontgrondingskuil niet verder dan 0,5 m boven de teen van de constructie mag komen. Indien de duinvoetverdediging een onderdeel wordt van het voorkeursalternatief zal nog een aanvullende uitwerking plaats vinden.

Ad 2.)

In een eerdere studie [Alkyon, 2003]⁶ is aan de hand van berekeningen vastgesteld dat de maximaal toelaatbare golfhoogte bij de constructie 1,5 meter is.

5.2 Bespreking van de resultaten, benodigde versterking

Voor de Jarkus-raaien 109,96 tot en met 111,96 zijn DurosTA-berekeningen uitgevoerd. In deze berekeningen zijn zandige versterkingen (in de vorm van een profielverschuiving) in beschouwing genomen van 10 tot 150 meter. Voor elk van de versterkingen is de maximale golfhoogte bij de constructie en de diepte van de ontgrondingskuil berekend. Op basis van de rekenresultaten is vervolgens de benodigde versterking bepaald. Een overzicht van de rekenresultaten is gegeven in Tabel 3-8 tot en met Tabel 3-15.

De benodigde versterking is separaat bepaald aan de hand van de optredende golfhoogte en de ontgrondingsdiepte. De benodigde versterking voor een stabiele duinvoetverdediging wordt vervolgens bepaald door het maximum van de separaat bepaalde versterkingen. Uit de tabellen volgt, dat de optredende golfhoogte maatgevend is voor de benodigde versterking.

⁶ Alkyon, 2003, A1116, Toetsing duinvoetverdedigingen en aansluitconstructies, Juli 2003

Tabel 3-4 Resultaten van berekeningen met betrekking tot veiligheid (oordeel en positie van afslagpunt ten opzichte van de RSP-lijn)

Raai	Oordeel met betrekking tot veiligheid				
	2-000	2-050	3-050	3-100	3-200
	(Verzwaard)	Sc. I	Sc. II	Sc. III	Sc. IV
102.00	voldoet niet	voldoet niet	voldoet niet	voldoet niet	voldoet niet
102.17					
102.36					
102.88					voldoet niet
103.12					
103.38					
103.51					
103.91					
104.22					
104.37					
104.47					
104.88					
104.98					
104.98					
105.37					
105.77					
106.34					
106.47					
106.84					
106.87					
106.92	voldoet niet	voldoet niet	voldoet niet	voldoet niet	voldoet niet
106.13					
106.23	voldoet niet	voldoet niet	voldoet niet	voldoet niet	voldoet niet
106.53	voldoet niet	voldoet niet	voldoet niet	voldoet niet	voldoet niet
106.53					
107.03					
107.13	voldoet niet	voldoet niet	voldoet niet	voldoet niet	voldoet niet
107.28					
107.43			voldoet niet	voldoet niet	voldoet niet
107.62	voldoet niet	voldoet niet	voldoet niet	voldoet niet	voldoet niet
107.73	voldoet niet	voldoet niet	voldoet niet	voldoet niet	voldoet niet
108.07	voldoet niet	voldoet niet	voldoet niet	voldoet niet	voldoet niet
108.46	voldoet niet	voldoet niet	voldoet niet	voldoet niet	voldoet niet
108.53					
108.20	voldoet niet	voldoet niet	voldoet niet	voldoet niet	voldoet niet
108.50	voldoet niet	voldoet niet	voldoet niet	voldoet niet	voldoet niet
109.33					
109.96	voldoet niet	voldoet niet	voldoet niet	voldoet niet	voldoet niet
110.34	voldoet niet	voldoet niet	voldoet niet	voldoet niet	voldoet niet
110.58	voldoet niet	voldoet niet	voldoet niet	voldoet niet	voldoet niet
110.72	voldoet niet	voldoet niet	voldoet niet	voldoet niet	voldoet niet
111.09	voldoet niet	voldoet niet	voldoet niet	voldoet niet	voldoet niet
111.47	voldoet niet	voldoet niet	voldoet niet	voldoet niet	voldoet niet
111.76	voldoet niet	voldoet niet	voldoet niet	voldoet niet	voldoet niet
111.96	voldoet niet	voldoet niet	voldoet niet	voldoet niet	voldoet niet
112.21	voldoet niet	voldoet niet	voldoet niet	voldoet niet	voldoet niet
112.44					
112.53	voldoet niet	voldoet niet	voldoet niet	voldoet niet	voldoet niet
112.82	voldoet niet	voldoet niet	voldoet niet	voldoet niet	voldoet niet
113.01	voldoet niet	voldoet niet	voldoet niet	voldoet niet	voldoet niet
113.19	voldoet niet	voldoet niet	voldoet niet	voldoet niet	voldoet niet
113.38	voldoet niet	voldoet niet	voldoet niet	voldoet niet	voldoet niet
113.50	voldoet niet	voldoet niet	voldoet niet	voldoet niet	voldoet niet
113.85	voldoet niet	voldoet niet	voldoet niet	voldoet niet	voldoet niet
113.76		voldoet niet	voldoet niet	voldoet niet	voldoet niet
113.94			voldoet niet	voldoet niet	voldoet niet
114.12			voldoet niet	voldoet niet	voldoet niet
114.31			voldoet niet	voldoet niet	voldoet niet
114.33			voldoet niet	voldoet niet	voldoet niet
114.44	voldoet niet	voldoet niet	voldoet niet	voldoet niet	voldoet niet
114.50	voldoet niet	voldoet niet	voldoet niet	voldoet niet	voldoet niet
114.85	voldoet niet	voldoet niet	voldoet niet	voldoet niet	voldoet niet
114.89	voldoet niet	voldoet niet	voldoet niet	voldoet niet	voldoet niet
114.88	voldoet niet	voldoet niet	voldoet niet	voldoet niet	voldoet niet
116.10			voldoet niet	voldoet niet	voldoet niet
116.38					
116.60					voldoet niet
116.78					voldoet niet
116.90					
116.96					
116.11					
116.36					
116.62					voldoet niet
116.87				voldoet niet	voldoet niet
117.00					
117.21				voldoet niet	voldoet niet
117.26					
117.50					
117.76					
118.00					voldoet niet
118.26					voldoet niet

Positie van het afslagpunt (m+RSP)					
2-000	2-000	2-050	3-050	3-100	3-200
(Vigerend)	(Verzwaard)	Sc. I	Sc. II	Sc. III	Sc. IV
-113	-161	-164	-165	-165	-165
-132	-165	-168	-175	-176	-170
-172	-204	-208	-233	-238	
-182	-268	-272	-286	-288	-291
-214	-238	-240	-265	-267	-282
-243	-262	-263	-300	-303	-312
-232	-262	-263	-281	-293	-297
-217	-249	-260	-287	-289	-276
-221	-265	-265	-275	-279	-284
-366	-414	-419	-419	-420	-417
-234	-261	-263	-276	-279	-284
-207	-260	-262	-268	-270	-274
-209	-309	-312	-325	-327	-331
-208	-248	-248	-261	-262	-264
-332	-388	-388	-396	-390	-396
-328	-260	-260	-284	-287	-275
-234	-279	-279	-283	-291	-274
-224	-269	-261	-322	-328	-337
-187	-229	-231	-279	-286	-371
-202					
-170	-231	-235	-266	-271	
-173					
-162					
-180	-221	-223	-245		
-184	-218	-217	-233	-235	-238
-179					
-194	-228	-227			
-166	-220	-225			
-167					
-169					
-191					
-180					
-180	-209	-210			
-171					
-177					
-175	-169	-200			
-179					
-170					
-172					
-173					
-168					
-102					
-122					
-119	-139	-139			
-118					
-102					
-116					
-106					
-112					
-117					
-108					
-112	-147				
-118	-145	-147			
-108	-140	-143			
-96	-128	-130			
-100	-139	-141			
-107					
-92	-125				
-97					
-88					
-77					
-48	-68	-70			
-33	-52	-63	-70	-72	-77
-6	-30	-34	-68	-70	
41	20	16	-10	-24	
66	41	36	19	15	6
93	75	72	52	48	22
116	103	102	86	83	78
187	167	165	147	143	90
251	229	222	96	-27	
317	269	229	-4		
353	298	292	200	13	-27
423	391	376	275		
426	404	403	352	327	269
636	440	430	363	360	74
699	531	520	477	469	109
656	594	587	171	164	
716	680	677	672	672	

Tabel 3-5 Resultaten van berekeningen met betrekking tot versterken aan landwaartse zijde (veiligheid)

Raai	Afslagpunt (na eventueel versterken) (m+RSP)				
	2-000 (Verzwaard)	2-050 Sc. I	3-050 Sc. II	3-100 Sc. III	3-200 Sc. IV
102.00		-118	-134	-134	-136
102.17		-151	-154	-165	-165
102.35		-165	-166	-175	-179
102.88		-204	-206	-233	-237
103.12		-268	-272	-286	-291
103.38		-238	-240	-255	-262
103.51		-282	-283	-300	-312
103.91		-262	-263	-281	-287
104.22		-249	-250	-267	-275
104.37		-256	-258	-275	-284
104.47		-414	-419	-419	-417
104.68		-261	-263	-276	-284
104.88		-250	-252	-268	-274
104.96		-309	-312	-325	-331
105.07		-246	-248	-261	-264
105.27		-286	-289	-299	-299
105.34		-250	-250	-264	-275
105.47		-278	-279	-283	-281
105.64		-286	-291	-322	-337
105.67		-228	-231	-279	-371
105.92			-261	-278	-277
106.13		-231	-235	-266	-271
106.23			-237	-270	-270
106.53			-240	-272	-273
106.83		-221	-223	-245	-259
107.03		-216	-217	-233	-238
107.13			-232	-248	-246
107.28		-226	-227	-233	-231
107.43		-220	-225	-244	-243
107.62			-210	-230	-236
107.73			-217	-237	-237
108.07			-231	-250	-252
108.45			-206	-224	-225
108.83		-209	-210	-225	-226
109.20			-209	-221	-222
109.58			-204	-222	-223
109.83		-199	-200	-212	-213
109.96			-207	-217	-219
110.34			-198	-218	-215
110.56			-205	-214	-210
110.72			-207	-224	-225
111.09			-194	-209	-210
111.47			-170	-186	-187
111.76			-146	-163	-163
111.96			-141	-158	-159
112.21			-154	-165	-164
112.44		-138	-138	-148	-151
112.63			-141	-160	-162
112.82			-142	-157	-158
113.01			-145	-163	-164
113.19			-140	-156	-155
113.38			-145	-160	-160
113.56			-143	-160	-160
113.65			-143	-160	-165
113.75		-147	-145	-161	-161
113.94		-145	-147	-165	-165
114.12		-140	-143	-159	-159
114.31		-128	-130	-146	-147
114.33		-138	-141	-147	-150
114.44			-130	-146	-156
114.50		-125	-127	-143	-143
114.65			-120	-136	-138
114.69			-117	-132	-133
114.88			-115	-129	-131
115.10		-68	-70	-89	-95
115.35		-52	-53	-70	-77
115.60		-30	-34	-66	-79
115.78		20	15	-10	-5
115.86		41	39	19	6
115.96		75	72	52	22
116.11		103	102	86	76
116.36		167	165	147	90
116.62		229	222	96	206
116.87		269	229	-4	-36
117.00		298	292	200	13
117.21		391	376	275	-1
117.25		404	403	352	337
117.50		440	430	393	380
117.75		531	520	477	469
118.00		594	587	171	164
118.25		680	677	672	672

aan zeewaartse zijde (veiligheid)

WG-SE20061125

Tabel 3-7 Resultaten van berekeningen met betrekking tot versterken aan zeewaartse zijde (consolideren)

Raai	Afslagpunt (na eventueel versterken) (m+RSP)					
	2-000 (Vigerend)	2-000 (Verzwaard)	2-050 Sc. I	3-050 Sc. II	3-100 Sc. III	3-200 Sc. IV
102.00			-49	-45	-43	-37
102.17	-113		-112	-112	-112	-112
102.35	-132		-130	-130	-131	-130
102.88	-172		-172	-172	-172	-172
103.12	-182		-180	-181	-181	-180
103.38	-214		-214	-214	-214	-214
103.51	-243		-243	-243	-243	-243
103.91	-232		-232	-232	-232	-232
104.22	-217		-217	-217	-217	-217
104.37	-221		-221	-221	-221	-221
104.47	-366		-364	-194	-180	-156
104.68	-234		-234	-234	-234	-233
104.88	-207		-207	-207	-207	-206
104.96	-209		-209	-209	-209	-208
105.07	-206		-206	-206	-206	-206
105.27	-232		-232	-232	-232	-231
105.34	-226		-225	-224	-225	-224
105.47	-234		-233	-227	-222	-209
105.64	-224		-224	-224	-224	-223
105.67	-187		-187	-187	-187	-187
105.92	-202		-202	-201	-202	-201
106.13	-170		-170	-170	-170	-170
106.23	-173		-173	-173	-173	-172
106.53	-162		-162	-162	-162	-162
106.83	-180		-180	-180	-180	-179
107.03	-184		-184	-183	-183	-183
107.13	-179		-179	-179	-179	-178
107.28	-194		-194	-194	-193	-199
107.43	-165		-165	-164	-165	-165
107.62	-187		-186	-186	-186	-150
107.73	-188		-186	-187	-187	-175
108.07	-191		-190	-190	-190	-183
108.45	-180		-179	-179	-179	-179
108.83	-180		-178	-179	-178	-178
109.20	-171		-170	-170	-170	-169
109.58	-177		-176	-176	-175	-176
109.83	-175		-175	-175	-175	-175
109.96	-178		-177	-177	-177	-177
110.34	-170		-169	-169	-169	-169
110.58	-172		-171	-171	-171	-159
110.72	-173		-172	-172	-172	-167
111.09	-166		-165	-165	-165	-156
111.47			-101	-99	-97	-94
111.76			-83	-80	-78	-72
111.96	-102		-100	-94	-88	-78
112.21	-122		-120	-121	-122	-122
112.44	-118		-118	-117	-118	-117
112.63	-118		-118	-118	-118	-117
112.82	-102		-101	-100	-100	-99
113.01	-115		-114	-114	-115	-112
113.19	-105		-104	-104	-105	-104
113.38	-112		-111	-111	-112	-111
113.56	-117		-116	-116	-116	-116
113.65	-108		-107	-107	-107	-99
113.75	-112		-111	-111	-111	-110
113.94	-116		-115	-115	-115	-115
114.12	-106		-105	-105	-105	-105
114.31	-98		-97	-98	-97	-97
114.33	-100		-99	-99	-100	-100
114.44	-107		-106	-106	-106	-106
114.50	-92		-92	-92	-91	-91
114.65	-97		-96	-80	-77	-69
114.89	-89		-87	-75	-73	-70
114.88	-77		-77	-77	-76	-74
115.10	-49		-49	-48	-48	-48
115.35	-33		-32	-32	-32	-32
115.80	-6		-5	-5	-5	-5
115.78	41		41	41	42	43
115.86	58		57	57	57	57
115.96	93		94	94	94	94
116.11	116		117	117	117	116
116.36	187		187	187	187	187
116.62	251		252	252	252	252
116.87	317		318	318	318	318
117.00	353		354	354	354	354
117.21	423		424	424	-999	-999
117.25	426		426	426	426	426
117.50	508		509	509	510	509
117.75	589		590	591	590	590
118.00	655		656	656	656	656
118.25	719		720	720	720	-999

Verschuiving van het duinprofiel (m)				
2-000 (verzwaard)	2-050 Sc. I	3-050 Sc. II	3-100 Sc. III	3-200 Sc. IV
70	97	101	116	
37	58	59	67	
38	59	63	74	
39	59	61	63	
37	58	62	70	
44	67	71	80	
64	94	102	122	
40	61	64	71	
38	57	59	64	
41	60	63	68	
116	153	161	178	
111	141	148	167	
39	58	61	67	
46	73	79	93	
48	77	82	92	
66	103	113	139	
127	161	170	189	
104	145	161	200	
73	108	119	156	
44	82	88	100	
60	85	90	106	
43	63	66	72	
43	64	66	73	
41	60	62	65	
56	84	90	105	
75	108	116	136	
47	74	78	88	
84	128	150	1000	
35	56	56	59	
107	147	160	215	
111	147	157	181	
103	134	143	166	
90	121	129	145	
78	106	113	129	
70	98	106	123	
70	100	108	124	
25	40	40	47	
66	94	101	117	
63	89	94	106	
63	94	103	142	
55	82	88	105	
78	107	114	140	
54	79	83	91	
54	80	84	94	
36	62	69	82	
57	86	93	115	
60	89	96	112	
64	91	98	113	
41	67	72	85	
62	89	95	112	
46	71	76	90	
49	74	80	96	
31	60	65	78	
45	70	76	100	
40	63	68	80	
49	76	82	99	
47	72	77	91	
44	67	73	87	
44	69	75	92	
28	49	55	71	
35	56	60	67	
33	56	60	69	
32	54	58	65	
28	46	50	57	
25	44	46	48	
26	42	43	45	
24	45	50	57	
26	51	62	97	
18	38	39	45	
22	40	43	52	
18	33	35	40	
23	38	41	46	
24	40	44	53	
27	47	50	59	
27	47	50	58	
48	149	1000	1000	
22	38	43	52	
33	51	54	61	
31	48	51	57	
30	53	60	81	
43	48	48	1000	

Aangebracht zandvolume (m3/m)				
2-000 (verzwaard)	2-050 Sc. I	3-050 Sc. II	3-100 Sc. III	3-200 Sc. IV
1160	1614	1668	1947	
611	1001	1057	1282	
625	1003	1080	1311	
643	1031	1084	1171	
608	1012	1109	1294	
728	1177	1276	1455	
1069	1656	1800	2126	
664	1066	1148	1338	
628	991	1049	1195	
679	1040	1120	1277	
1892	2515	2653	2957	
1741	2246	2364	2675	
647	1011	1088	1225	
763	1275	1417	1748	
784	1278	1362	1533	
1109	1754	1929	2355	
2194	2810	2946	3246	
1690	2397	2636	3277	
1110	1662	1817	2384	
740	1442	1537	1737	
1016	1518	1642	2035	
726	1120	1194	1358	
728	1139	1194	1376	
691	1068	1125	1235	
949	1505	1654	1996	
1296	1933	2054	2374	
801	1337	1428	1597	
1190	1846	2137	0	
548	884	866	911	
1681	2336	2514	3336	
1908	2548	2686	3040	
1792	2396	2537	2927	
1552	2112	2238	2472	
1334	1921	2063	2317	
1194	1744	1849	2134	
1179	1751	1877	2129	
413	862	858	775	
1121	1636	1749	2019	
1053	1582	1657	1891	
981	1486	1616	2197	
954	1521	1633	1916	
1268	1763	1895	2347	
911	1403	1527	1714	
903	1439	1518	1748	
598	1093	1245	1543	
930	1420	1514	1887	
998	1533	1653	1956	
1056	1622	1719	1990	
667	1123	1221	1446	
1029	1558	1719	2027	
763	1243	1344	1570	
829	1324	1420	1705	
512	1019	1088	1309	
713	1123	1203	1536	
691	1136	1203	1538	
800	1279	1384	1643	
789	1231	1306	1514	
748	1167	1289	1495	
739	1177	1295	1549	
442	791	884	1139	
586	1000	1089	1264	
551	996	1089	1295	
534	960	1053	1216	
455	781	878	1048	
408	751	807	879	
424	723	752	824	
368	695	771	882	
365	719	876	1582	
290	582	630	728	
355	649	696	839	
292	563	611	719	
373	648	699	904	
388	682	750	906	
428	746	791	1112	
436	784	842	1190	
669	2115	0	0	
356	632	717	998	
531	862	936	1068	
499	809	1010	3592	
428	762	862	1166	
650	725	721	0	

Tabel 3-8 Benodigde versterking bij Jarkus-raai 109.96

Benodigde versterking op basis van golfhoogte

Versterking (m)	Hs _{ig} bij de teen (m)			
	Sc. I	Sc. II	Sc. III	Sc. IV
10	2.58	2.78	2.75	2.39
20	2.13	2.49	2.55	2.09
30	1.91	2.21	2.08	1.88
40	1.66	1.88	1.81	1.66
50	1.17	1.58	1.52	1.29
60	0	1.02	0.78	0
70	0	0	0	0
80	0	0	0	0
90	0	0	0	0
100	0	0	0	0
110	0	0	0	0
120	0	0	0	0
130	0	0	0	0
140	0	0	0	0
150	0	0	0	0

Maximaal toelaatbare golfhoogte 1.5 m (op basis van [A1116, Alkyon, 2003])

Versterking	50	60	60	50	m3/m	(verschuiving van het profiel)
Toegevoegd volume	810	1014	969	759	m3/m	(volumes zijn exclusief meestlijgen van de bodem)

Benodigde versterking op basis van ontgroning

Versterking	Bodemniveau bij constructie (m+NAP)			
	Sc. I	Sc. II	Sc. III	Sc. IV
10	1.7	1.91	1.17	4.98
20	2.88	2.79	4.11	5.52
30	3.96	4.2	4.44	5.88
40	4.23	4.53	5.07	6.17
50	4.97	4.85	5.42	6.6
60	8.47	6.24	7.22	8.98
70	11.13	10.03	10.63	11.26
80	11.19	11.31	11.49	11.49
90	11.19	11.49	11.49	11.49
100	11.19	11.49	11.49	11.49
110	11.19	11.49	11.49	11.49
120	11.19	11.49	11.49	11.49
130	11.19	11.49	11.49	11.49
140	11.19	11.49	11.49	11.49
150	11.19	11.49	11.49	11.49

Maximaal toelaatbare kull 1.2 m (=teen glooiing + 0,5 m)

Versterking	0	0	20	0	m3/m	(verschuiving van het profiel)
Toegevoegd volume	0	0	311	0	m3/m	(volumes zijn exclusief meestlijgen van de bodem)

Benodigde versterking

	Sc. I	Sc. II	Sc. III	Sc. IV		
Versterking	50	60	60	50	m3/m	(verschuiving van het profiel)
Toegevoegd volume	810	1014	969	759	m3/m	(volumes zijn exclusief meestlijgen van de bodem)

Tabel 3-9 Benodigde versterking bij Jarkus-raai 110.34

Benodigde versterking op basis van golfhoogte

Versterking (m)	Hs bij de teen (m)			
	Sc. I	Sc. II	Sc. III	Sc. IV
10	2.83	2.98	3.06	3.06
20	2.33	2.63	2.81	2.7
30	2.01	2.38	2.47	2.35
40	1.77	2.02	2.05	2.13
50	1.43	1.77	1.82	1.9
60	0.52	1.33	1.49	1.65
70	0	0	0.65	1.17
80	0	0	0	0
90	0	0	0	0
100	0	0	0	0
110	0	0	0	0
120	0	0	0	0
130	0	0	0	0
140	0	0	0	0
150	0	0	0	0

Maximaal toelaatbare golfhoogte 1.5 m (op basis van [A1116, Alkyon, 2003])

Versterking	50	60	60	70	m3/m	(verschuiving van het profiel)
Toegevoegd volume	820	1037	1018	1214	m3/m	(volumes zijn exclusief meestlijgen van de bodem)

Benodigde versterking op basis van ontgroning

Versterking	Bodemniveau bij constructie (m+NAP)			
	Sc. I	Sc. II	Sc. III	Sc. IV
10	2.09	2.04	1.81	3.45
20	3.05	2.43	1.92	4.16
30	3.59	3.67	3.85	4.8
40	4.01	4.25	4.44	5.27
50	4.37	4.53	4.88	5.64
60	5.83	4.91	5.22	5.94
70	9.87	7.01	6.6	6.43
80	11.1	10.99	10.57	9.2
90	11.11	11.9	11.97	11.65
100	11.11	11.86	11.98	11.98
110	11.11	11.9	11.98	11.98
120	11.11	11.9	11.98	11.98
130	11.11	11.9	11.98	11.98
140	11.11	11.9	11.98	11.98
150	11.11	11.9	11.98	11.98

Maximaal toelaatbare kuil 1.2 m (=teen glooiing + 0,5 m)

Versterking	0	0	0	0	m3/m	(verschuiving van het profiel)
Toegevoegd volume	0	0	0	0	m3/m	(volumes zijn exclusief meestlijgen van de bodem)

Benodigde versterking

Versterking	50	60	60	70	m3/m	(verschuiving van het profiel)
Toegevoegd volume	820	1037	1018	1214	m3/m	(volumes zijn exclusief meestlijgen van de bodem)

Tabel 3-10 Benodigde versterking bij Jarkus-raai 110.56

Benodigde versterking op basis van golfhoogte

Versterking (m)	Hsg bij de teen (m)			
	Sc. I	Sc. II	Sc. III	Sc. IV
10	3.03	3.3	3.28	3.34
20	2.64	2.99	3.02	3.02
30	2.28	2.7	2.8	2.74
40	1.94	2.43	2.5	2.44
50	1.69	2.09	2.14	2.17
60	1.33	1.77	1.83	1.96
70	0	1.49	1.59	1.75
80	0	0.99	1.2	1.51
90	0	0	0	1.11
100	0	0	0	0
110	0	0	0	0
120	0	0	0	0
130	0	0	0	0
140	0	0	0	0
150	0	0	0	0

Maximaal toelaatbare golfhoogte **1.5** m (op basis van [A1116, Alkyon, 2003])

Versterking	60	70	80	90	m3/m	(verschuiving van het profiel)
Toegevoegd volume	957	1108	1222	1338	m3/m	(volumes zijn exclusief meestlijgen van de bodem)

Benodigde versterking op basis van ontgronding

Versterking	Bodemniveau bij constructie (m+NAP)			
	Sc. I	Sc. II	Sc. III	Sc. IV
10	0.17	-0.3	0.3	2.61
20	1.69	1.24	1.39	3.23
30	2.42	2.16	1.51	3.88
40	3.51	3.24	3.29	4.48
50	4.04	3.87	3.98	5
60	4.42	4.48	4.7	5.45
70	6.17	4.78	5.09	5.77
80	8.87	5.49	5.5	6.06
90	9.51	8.05	7.56	6.45
100	9.52	9.52	9.28	8.36
110	9.52	9.52	9.52	9.46
120	9.52	9.52	9.52	9.52
130	9.52	9.52	9.52	9.52
140	9.52	9.52	9.52	9.52
150	9.52	9.52	9.52	9.52

Maximaal toelaatbare kuil **1.2** m (=teen glooiing + 0,5 m)

Versterking	20	20	20	0	m3/m	(verschuiving van het profiel)
Toegevoegd volume	307	305	302	0	m3/m	(volumes zijn exclusief meestlijgen van de bodem)

Benodigde versterking

Versterking	60	70	80	90	m3/m	(verschuiving van het profiel)
Toegevoegd volume	957	1108	1222	1338	m3/m	(volumes zijn exclusief meestlijgen van de bodem)

Tabel 3-11 Benodigde versterking bij Jarkus-raai 110.72

Benodigde versterking op basis van golfhoogte

Versterking (m)	Hs bij de teen (m)			
	Sc. I	Sc. II	Sc. III	Sc. IV
10	3.28	3.56	3.47	3.48
20	3	3.21	3.25	3.15
30	2.68	2.96	2.91	2.8
40	2.2	2.56	2.53	2.46
50	1.91	2.14	2.17	2.25
60	1.64	1.9	1.94	2.03
70	1.15	1.61	1.67	1.79
80	0	1.06	1.15	1.43
90	0	0	0	0.67
100	0	0	0	0
110	0	0	0	0
120	0	0	0	0
130	0	0	0	0
140	0	0	0	0
150	0	0	0	0

Maximaal toelaatbare golfhoogte 1.5 m (op basis van [A1116, Alkyon, 2003])

Versterking	70	80	80	80	m3/m	(verschuiving van het profiel)
Toegevoegd volume	1262	1471	1452	1440	m3/m	(volumes zijn exclusief meestlgen van de bodem)

Benodigde versterking op basis van ontgroning

Versterking	Bodemniveau bij constructie (m+NAP)			
	Sc. I	Sc. II	Sc. III	Sc. IV
10	0.69	-0.71	-0.48	2.26
20	1.24	1.14	0.97	3.13
30	1.9	1.81	2.33	3.91
40	2.8	2.63	3.4	4.56
50	3.77	3.59	4.02	5.11
60	4.11	4.32	4.69	5.44
70	4.69	4.64	4.99	5.73
80	7.66	5.41	5.5	6.06
90	10.94	8.81	8.61	7.38
100	11.1	11.62	11.92	10.85
110	11.11	11.9	12.07	12.07
120	11.11	11.9	12.1	12.08
130	11.11	11.9	12.1	12.1
140	11.11	11.9	12.1	12.1
150	11.11	11.9	12.1	12.1

Maximaal toelaatbare kuli 1.2 m (=teen glooiing + 0,5 m)

Versterking	20	30	30	0	m3/m	(verschuiving van het profiel)
Toegevoegd volume	344	539	537	0	m3/m	(volumes zijn exclusief meestlgen van de bodem)

Benodigde versterking

	Sc. I	Sc. II	Sc. III	Sc. IV		
Versterking	70	80	80	80	m3/m	(verschuiving van het profiel)
Toegevoegd volume	1262	1471	1452	1440	m3/m	(volumes zijn exclusief meestlgen van de bodem)

Tabel 3-12 Benodigde versterking bij Jarkus-raai 111.09

Benodigde versterking op basis van golfhoogte

Versterking (m)	Hs bij de teen (m)			
	Sc. I	Sc. II	Sc. III	Sc. IV
10	3.45	3.69	3.69	3.8
20	3.3	3.53	3.57	3.72
30	3.14	3.4	3.41	3.46
40	2.8	3.12	3.14	3.15
50	2.4	2.81	2.83	2.87
60	2.12	2.44	2.47	2.58
70	1.89	2.17	2.2	2.28
80	1.64	1.96	1.99	2.08
90	1.21	1.71	1.76	1.88
100	0	1.33	1.47	1.64
110	0	0	0.78	1.29
120	0	0	0	0
130	0	0	0	0
140	0	0	0	0
150	0	0	0	0

Maximaal toelaatbare golfhoogte **1.5** m (op basis van [A1116, Alkyon, 2003])

Versterking	90	100	100	110	m3/m	(verschuiving van het profiel)
Toegevoegd volume	1422	1632	1592	1783	m3/m	(volumes zijn exclusief meestlijgen van de bodem)

Benodigde versterking op basis van ontgroning

Versterking	Bodemniveau bij constructie (m+NAP)			
	Sc. I	Sc. II	Sc. III	Sc. IV
10	-2.22	-2.31	-1.77	-0.03
20	-1.37	-1.77	-1.04	1.1
30	0.93	0.3	1.25	2.35
40	1.75	1.51	2.01	3
50	2.43	2.33	2.7	3.57
60	3.36	2.99	3.45	4.14
70	3.81	3.8	4.14	4.83
80	4.11	4.26	4.63	5.35
90	4.6	4.55	4.91	5.63
100	6.91	4.95	5.22	5.91
110	9.95	6.69	6.36	6.28
120	10.18	9.72	9.04	7.84
130	10.38	10.38	10.17	10.07
140	10.38	10.38	10.38	10.34
150	10.38	10.38	10.38	10.38

Maximaal toelaatbare kull **1.2** m (=teen glooiing + 0,5 m)

Versterking	40	40	30	30	m3/m	(verschuiving van het profiel)
Toegevoegd volume	594	594	449	460	m3/m	(volumes zijn exclusief meestlijgen van de bodem)

Benodigde versterking

	Sc. I	Sc. II	Sc. III	Sc. IV		
Versterking	90	100	100	110	m3/m	(verschuiving van het profiel)
Toegevoegd volume	1422	1632	1592	1783	m3/m	(volumes zijn exclusief meestlijgen van de bodem)

Tabel 3-13 Benodigde versterking bij Jarkus-raai 111.47

Benodigde versterking op basis van golfhoogte

Versterking (m)	Hsg bij de teen (m)			
	Sc. I	Sc. II	Sc. III	Sc. IV
10	3.19	3.41	3.46	3.59
20	3.02	3.29	3.26	3.32
30	2.65	2.96	2.94	3.02
40	2.2	2.58	2.53	2.57
50	2	2.22	2.24	2.28
60	1.76	2	2.03	2.07
70	1.4	1.75	1.77	1.84
80	0.6	1.33	1.38	1.52
90	0	0	0	0.76
100	0	0	0	0
110	0	0	0	0
120	0	0	0	0
130	0	0	0	0
140	0	0	0	0
150	0	0	0	0

Maximaal toelaatbare golfhoogte **1.5** m (op basis van [A1116, Alkyon, 2003])

Versterking	70	80	80	90	m3/m	(verschuiving van het profiel)
Toegevoegd volume	1227	1435	1560	1711	m3/m	(volumes zijn exclusief meestlgen van de bodem)

Benodigde versterking op basis van ontgraving

Versterking	Bodemniveau bij constructie (m+NAP)			
	Sc. I	Sc. II	Sc. III	Sc. IV
10	-1.73	-2.15	-1.39	0.95
20	1.24	1.28	1.96	3.11
30	2.04	2.09	2.78	3.66
40	2.88	2.77	3.46	4.36
50	3.72	3.63	4.13	5
60	4.02	4.23	4.62	5.43
70	4.4	4.53	4.9	5.71
80	5.76	4.92	5.31	6.05
90	9.5	6.85	7.1	7.3
100	10.74	10.49	10.83	10.75
110	11.09	11.6	12.24	12.98
120	11.09	11.89	12.29	13.14
130	11.09	11.87	12.29	13.14
140	11.09	11.89	12.29	13.14
150	11.09	11.89	12.29	13.14

Maximaal toelaatbare kuil **1.2** m (=teen glooiing + 0,5 m)

Versterking	20	20	20	20	m3/m	(verschuiving van het profiel)
Toegevoegd volume	348	351	396	386	m3/m	(volumes zijn exclusief meestlgen van de bodem)

Benodigde versterking

	Sc. I	Sc. II	Sc. III	Sc. IV		
Versterking	70	80	80	90	m3/m	(verschuiving van het profiel)
Toegevoegd volume	1227	1435	1560	1711	m3/m	(volumes zijn exclusief meestlgen van de bodem)

Tabel 3-14 Benodigde versterking bij Jarkus-raai 111.76

Benodigde versterking op basis van golfhoogte

Versterking (m)	Hs bij de teen (m)			
	Sc. I	Sc. II	Sc. III	Sc. IV
10	2.79	3.08	3.08	3.08
20	2.39	2.73	2.75	2.66
30	2.09	2.31	2.33	2.39
40	1.09	1.57	1.61	1.7
50	1.6	1.88	1.9	1.95
60	1.12	1.59	1.61	1.71
70	0	1.01	1.09	1.28
80	0	0	0	0
90	0	0	0	0
100	0	0	0	0
110	0	0	0	0
120	0	0	0	0
130	0	0	0	0
140	0	0	0	0
150	0	0	0	0

Maximaal toelaatbare golfhoogte **1.5** m (op basis van [A1116, Alkyon, 2003])

Versterking	40	70	70	70	m3/m	(verschuiving van het profiel)
Toegevoegd volume	667	1262	1262	1290	m3/m	(volumes zijn exclusief meestlijgen van de bodem)

Benodigde versterking op basis van ontgroning

Versterking	Bodemniveau bij constructie (m+NAP)			
	Sc. I	Sc. II	Sc. III	Sc. IV
10	1.69	1.88	2.29	3.47
20	2.43	2.51	2.92	4.05
30	3.43	3.31	3.74	4.82
40	3.85	4.07	4.46	5.25
50	4.16	4.35	4.73	5.54
60	4.72	4.68	5.06	5.82
70	7.54	5.45	5.76	6.24
80	10.39	8.66	8.67	8.38
90	10.66	11.57	11.91	11.97
100	11.09	11.85	12.26	12.58
110	11.09	11.82	12.28	12.73
120	11.09	11.88	12.28	12.73
130	11.09	11.88	12.28	12.73
140	11.09	11.88	12.28	12.73
150	11.09	11.88	12.28	12.73

Maximaal toelaatbare kull **-0.5** m (=teen glooiing + 0,5 m)

Versterking	0	0	0	0	m3/m	(verschuiving van het profiel)
Toegevoegd volume	0	0	0	0	m3/m	(volumes zijn exclusief meestlijgen van de bodem)

Benodigde versterking

	Sc. I	Sc. II	Sc. III	Sc. IV		
Versterking	40	70	70	70	m3/m	(verschuiving van het profiel)
Toegevoegd volume	667	1262	1262	1290	m3/m	(volumes zijn exclusief meestlijgen van de bodem)

Tabel 3-15 Benodigde versterking bij Jarkus-raai 111.96

Benodigde versterking op basis van golfhoogte

Versterking (m)	Hs bij de teen (m)			
	Sc. I	Sc. II	Sc. III	Sc. IV
10	2.39	2.76	2.78	2.72
20	2.09	2.32	2.36	2.41
30	1.87	2.12	2.15	2.21
40	1.61	1.89	1.92	1.99
50	1.13	1.62	1.65	1.75
60	0	1.14	1.17	1.33
70	0	0	0	0.09
80	0	0	0	0
90	0	0	0	0
100	0	0	0	0
110	0	0	0	0
120	0	0	0	0
130	0	0	0	0
140	0	0	0	0
150	0	0	0	0

Maximaal toelaatbare golfhoogte **1.5** m (op basis van [A1116, Alkyon, 2003])

Versterking	50	60	60	60	m3/m	(verschuiving van het profiel)
Toegevoegd volume	857	1043	1063	1132	m3/m	(volumes zijn exclusief meestlijgen van de bodem)

Benodigde versterking op basis van ontgroning

Versterking	Bodemniveau bij constructie (m+NAP)			
	Sc. I	Sc. II	Sc. III	Sc. IV
10	2.43	2.48	2.87	4.21
20	3.44	3.28	3.66	4.8
30	3.85	4.07	4.44	5.22
40	4.13	4.33	4.72	5.5
50	4.68	4.66	5.03	5.8
60	7.28	5.37	5.57	6.19
70	10.51	8.29	8.37	7.94
80	11.04	11.54	11.73	11.45
90	11.09	11.47	12.24	12.77
100	11.09	11.88	12.28	12.98
110	11.09	11.88	12.28	12.98
120	11.09	11.88	12.28	12.98
130	11.09	11.88	12.28	12.98
140	11.09	11.88	12.28	12.98
150	11.09	11.88	12.28	12.98

Maximaal toelaatbare kull **-0.5** m (=teen glooiing + 0,5 m)

Versterking	0	0	0	0	m3/m	(verschuiving van het profiel)
Toegevoegd volume	0	0	0	0	m3/m	(volumes zijn exclusief meestlijgen van de bodem)

Benodigde versterking

	Sc. I	Sc. II	Sc. III	Sc. IV		
Versterking	50	60	60	60	m3/m	(verschuiving van het profiel)
Toegevoegd volume	857	1043	1063	1132	m3/m	(volumes zijn exclusief meestlijgen van de bodem)

