

Landaanwinning t.b.v. aanleg Tweede Maasvlakte Onderhoudsaspecten Doorsteekvariant

OPDRACHTGEVER: Havenbedrijf Rotterdam NV

PROJECTNUMMER: 04i100

VERSIE: 1.30

november 2004

Projectgegevens

- **Titel:** Onderhoudsaspecten Doorsteekvariant
- Versie:** definitief rapport
- Opdrachtgever:** PMV2 - projectonderdeel Realisatie, HbR
- Projectnummer:** 04i100
- Omschrijving project** In deze nota "Onderhoudsaspecten Doorsteekvariant" wordt ingegaan op de verschillende aspecten die een rol spelen bij het te verwachte kustonderhoud van MV2 en de aanzanding in de Euro-Maasgeul, alsmede eventuele afgeleide consequenties op het gebied van aanleg- en onderhoudskosten en de opgave voor natuurcompensatie.
- Uitgevoerd door:** Sander Boer
Dirk Roukema

Samenvatting

In deze nota "Onderhoudsaspecten Doorsteekvariant, november 2004" is het te verwachten onderhoud aan de zachte zeewering van de Doorsteekvariant en de aanzanding van de Euro-Maasgeul beschreven. Tevens is nagegaan in hoeverre dit onderhoud beïnvloed wordt door de bandbreedtes in het ontwerp, zowel in horizontale zin (tracé van de zachte zeewering), als in verticale zin (het dwarsprofiel van de zachte zeewering).

Op basis van de resultaten van het uitgevoerde onderzoek worden op hoofdlijnen de volgende conclusies getrokken, inclusief enkele (afgeleide) aanbevelingen met betrekking tot eventuele beleidskeuzen.

Met betrekking tot de hoeveelheid onderhoud

1. Het kustonderhoud bij de Doorsteekvariant bedraagt, uitgaande van een korreldiameter van het zand $D_{50} = 285 \mu\text{m}$, voor de eindsituatie ca. 0,6 miljoen m^3 per jaar, en voor de tussenfase (fase 1 buitencontour) ca 0,5 miljoen m^3 per jaar. Rondom deze hoeveelheden zit een spreiding van ca. 70 % voor een willekeurig jaar en 55% voor een gemiddeld jaar.
2. Het onderhoud (baggeren) in de Euro-Maasgeul neemt door de Landaanwinning aanmerkelijk toe. Mogelijk kunnen de kosten worden beperkt door het gebaggerde zand te gebruiken voor de binnencontour van MV2 (zandpannenkoek).

Met betrekking tot de invloed van de ontwerpparameters

3. De belangrijkste ontwerpparameter is de korreldiameter van het toe te passen zand voor de zachte zeewering. De vorm van de buitencontour (tracé) en het dwarsprofiel hebben hierop binnen de vigerende bandbreedtes van het ontwerp geen significante invloed. Om deze reden wordt nader onderzoek verricht naar de korreldiameter van het beschikbare zand in het zoekgebied.
4. De te maken ontwerpkeuzes moeten door HbR gebaseerd worden op de MER landaanwinning en zandwinning. Hierdoor zal de ontwerp vrijheid voor de aannemer minimaal zijn.

Met betrekking tot de taakverdeling HbR - aannemer

5. In de aanbestedingsstrategie wordt overwogen om gedurende de ontwikkeling van MV2 (fase 1 en eindfase buitencontour) het onderhoud aan de zeewering mee te geven aan de aannemer vanwege:
 - de mogelijkheid om extra garanties voor de kwaliteit van de uitvoering af te dwingen
 - het gegeven dat het kustonderhoud van de zachte zeewering het beste kan plaatsvinden met hetzelfde zand dat wordt gebruikt bij de aanleg (korreldiameter van $285 \mu\text{m}$)

Met betrekking tot de taakverdeling Rijk – HbR

6. Vanwege de sterke verwevenheid tussen de aanleg- en onderhoudsfase is het wenselijk om de uitvoeringstaak en het bijbehorende budget voor het onderhoud van de huidige en de nieuwe kust Maasvlakte gedurende de ontwikkeling van MV2 over te dragen van het Rijk aan Rotterdam. Onder welke condities moet nader worden bepaald.

Na de ontwikkelingsperiode van de Landaanwinning wordt voorgesteld de taak voor het onderhoud van de kust terug te geven aan het Rijk.

Inhoudsopgave

| | | |
|----------|--------------------------------------------------------|-----------|
| 1 | Inleiding | 1 |
| 2 | Beschouwde situaties | 2 |
| 2.1 | Bestaande situatie | 2 |
| 2.2 | Doorsteek variant | 3 |
| 3 | Kustonderhoud | 8 |
| 3.1 | Bestaande situatie | 8 |
| 3.2 | Doorsteek variant | 11 |
| 4 | Aanzanding Euro-Maasgeul | 14 |
| 4.1 | Bestaande situatie | 14 |
| 4.2 | Doorsteek variant | 16 |
| 5 | Betrouwbaarheid, bandbreedte en onzekerheden | 18 |
| 5.1 | Betrouwbaarheid | 18 |
| 5.2 | Bandbreedte | 19 |
| 5.3 | Resterende onzekerheden | 22 |
| 6 | Invloed ontwerpkeuzen en –parameters | 25 |
| 6.1 | Algemeen | 25 |
| 6.2 | Horizontale lay-out | 25 |
| 6.3 | Verticale lay-out | 29 |
| 7 | Beheersmaatregelen | 36 |
| 7.1 | Algemeen | 36 |
| 7.2 | Kustonderhoud | 36 |
| 7.3 | Ontwikkeling ontgrondingskuil | 40 |
| 7.4 | Voorlopige conclusie | 41 |
| 8 | Dwarsverband natuurcompensatie | 43 |
| 8.1 | Beperking ruimtebeslag Doorsteekvariant: | 43 |
| 8.2 | Invloed zandsuppleties op verondieping Haringvlietmond | 43 |
| 8.3 | Ontwikkeling ontgrondingskuil | 44 |
| 9 | Conclusies en aanbevelingen | 55 |
| 9.1 | Op hoofdlijnen | 55 |
| 9.2 | Kustonderhoud | 56 |
| 9.3 | Onderhoud Euro-Maasgeul | 58 |
| 9.4 | Onzekerheden. | 59 |

Literatuur

Bijlagen

- 1: Overzicht van uitgevoerde onderzoeken op gebied van morfologie
- 2: Concepts for coastal engineering measures for coastal protection and beach improvement

1 Inleiding

Ter voorbereiding op het opstellen van de Uitwerkingsovereenkomst Maasvlakte 2 bestaat er binnen de Projectorganisatie Maasvlakte 2 (PMV2) behoefte om een beter inzicht te krijgen in de verschillende aspecten die een rol spelen bij het kustonderhoud van MV2 en de aanzanding in de Euro-Maasgeul, alsmede eventuele afgeleide consequenties op het gebied van aanleg- en onderhoudskosten en de opgave voor natuurcompensatie.

In dit rapport wordt hierop nader ingegaan. Na dit inleidende hoofdstuk, volgt eerst in hoofdstuk 2 een beschrijving van de situaties die in beschouwing zijn genomen. De eindsituatie van het vigerende ontwerp van de Doorsteek variant (2003) fungeert in het verdere rapport als baseline situatie. Er wordt echter ook gerefereerd naar de huidige situatie. Hoofdstuk 3 gaat in op het kustonderhoud, terwijl hoofdstuk 4 de aanzanding in de Euro-Maasgeul behandelt. Daarna wordt in hoofdstuk 5 ingegaan op de betrouwbaarheid, bandbreedte en onzekerheden die betrekking hebben op de uitgevoerde morfologische berekeningen en de aspecten waarmee daarbij rekening is gehouden. Vervolgens worden in hoofdstuk 6 de belangrijkste ontwerpkeuzen en –variabelen besproken die het kustonderhoud van MV2 en de aanzanding in de Euro-Maasgeul beïnvloeden. Hierbij wordt onderscheid gemaakt tussen de horizontale en de verticale lay-out van het ontwerp van MV2. Daarna wordt in hoofdstuk 7 ingegaan op de technische maatregelen die denkbaar zijn om de optredende (morfologische) effecten te mitigeren, inclusief de consequenties voor de onderhouds- en aanlegkosten. Vervolgens wordt in hoofdstuk 8 een dwarsverband gelegd naar natuurcompensatie. Tenslotte worden in hoofdstuk 9 de conclusies en de aanbevelingen van de studie gegeven. De belangrijkste resultaten van het onderzoek zijn reeds aan het begin van het rapport samengevat.

Dit rapport is mede opgesteld op basis van de gegevens afkomstig van de verschillende onderzoeken die in het verleden in het kader van SM2V en EC-PMR zijn uitgevoerd (periode 1996-2004). Een overzicht van alle onderzoeken die in deze periode zijn uitgevoerd is opgenomen in bijlage 1.

2 Beschouwde situaties

2.1 Bestaande situatie

Voor de bestaande situatie gaat de aandacht uit naar het zeegebied dat begrensd wordt door de Euro-Maasgeul, de bestaande Maasvlakte en het Slufterdepot (Figuur 2.1). Het kustvak van het Slufterdepot nabij de Zuiderdam, het Hindergat en de Euro-Maasgeul zijn daarbij van speciaal belang omdat de waargenomen morfologische ontwikkelingen in deze gebieden gebruikt zijn voor de validatie van de toegepaste morfologische modellen.



Figuur 2.1: Situatie kustgebied ten noordwesten van het Slufterdepot en de bestaande Maasvlakte.

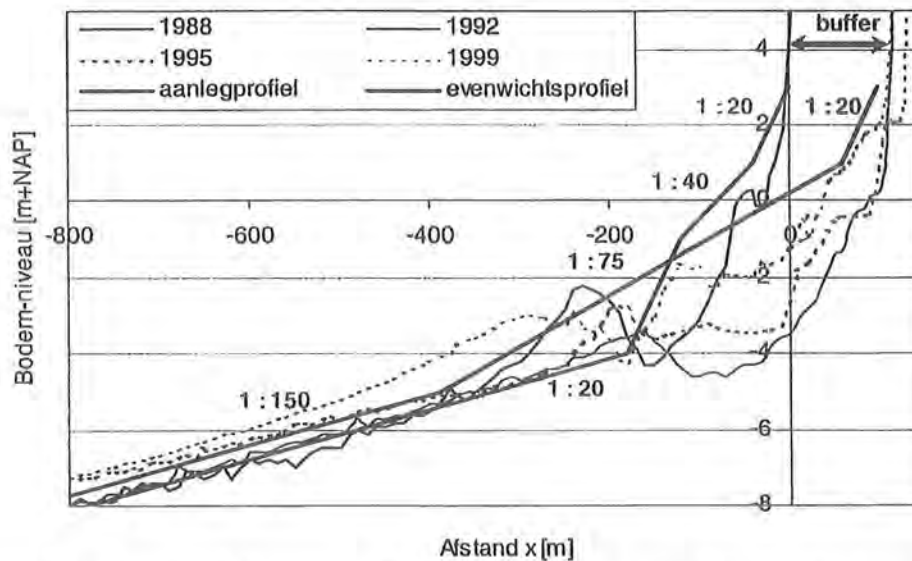
Bij het ontwerp van het Slufterdepot is destijds uitgegaan van een kustoriëntatie met de normaal op de kust in een richting van 303° N ([1]).

Als ontwerpprofiel voor de zeezijde van het Slufterdepot is destijds gekozen voor een helling van 1:75 voor het profiel tussen NAP +1,0 m en NAP -5,0 m en van 1:150 daar beneden, uitgaande van een korreldiameter $D_{50} = 200$ à $250 \mu\text{m}$ voor het ophoogzand ([1]).

Echter, in plaats van dit ontwerpprofiel is bij de uitvoering van het werk een ander dwarsprofiel aangelegd dat qua uitvoering wat praktischer te maken was. Door de natuurlijke werking van

golven zou dit aanlegprofiel na verloop van tijd moeten vervormen tot een meer natuurlijk verlopend evenwichtsprofiel. Hierbij was ervoor gezorgd dat er voldoende zand in een buffer aanwezig was voor de ontwikkeling van een dergelijk evenwichtsprofiel (Figuur 2.2).

Uiteindelijk is de Slufterdam opgespoten met zand afkomstig uit het depot zelf. Uit het uitgevoerde grondonderzoek bleek dat dit materiaal een gemiddelde korrel diameter had van ca. 130 μm . Voor de zandbuffer is zeer grof zand (300 à 400 μm) toegepast ([2]).



Figuur 2.2: Ontwerpprofiel, aanlegprofiel en natuurlijke dwarsprofielen Slufterdam, JARKUS-raai 976 (uit [3])

2.2 Doorsteek variant

Voor de Doorsteek variant zijn de volgende situaties onderscheiden:

- eindsituatie
- fase 1 (700 ha)¹

Horizontale layout

In figuur 2.3a en 2.3b worden de bijbehorende horizontale lay-outs weergegeven. In tabel 2.1 wordt een overzicht gegeven van de belangrijkste kenmerken voor de verschillende situaties.

Ontwerpprofiel

Als ontwerpprofiel voor de landaanwinning is uitgegaan van een dwarsprofiel zoals dat in werkelijkheid langs het betreffende kustgedeelte (Delfland) wordt aangetroffen. Min of meer hetzelfde profiel is in het verleden ook al toegepast voor het profiel van het kustlocatie Den Haag/Hoek van Holland, ook wel bekend als uitbreidingsplan Nieuw Holland [4].

Voor het gedeelte boven NAP -5 m is uitgegaan van een helling van:

- tussen NAP +3 m (voet zanddam) tot NAP +1 m (het droge strand): 1:25
- tussen NAP +1 m tot NAP -1 m: 1:50

¹ Omdat bij fase 1 is uitgegaan van de zogenaamde "tussenfase" zoals in het voorjaar 2004 beschikbaar was kunnen er kleine verschillen in lay-out bestaan met het huidige ontwerp van fase 1.

- tussen NAP -1 m tot NAP -5 m:

1:75

De helling van het dieper gelegen deel van de vooroever, beneden een niveau NAP -5 m, wordt nog flauwer, maar blijkt in de praktijk langs de Nederlandse kust nogal te variëren, afhankelijk van de lokale omstandigheden en de aanwezige korreldiameter, grofweg tussen 1:75 als ondergrens en 1:150 als bovengrens. Voor het gedeelte van het ontwerpprofiel tussen NAP -5 m en NAP -10 m is daarom bij MV2 uitgegaan van een gemiddeld talud van 1:100.

Op een diepte van NAP -10 m loopt het ontwerpprofiel onder een steile helling (1:20) af naar de lokaal aanwezige waterdiepte (een zgn. "afgeknot" profiel).

Dit ontwerpprofiel wordt weergegeven in figuur 2.4.

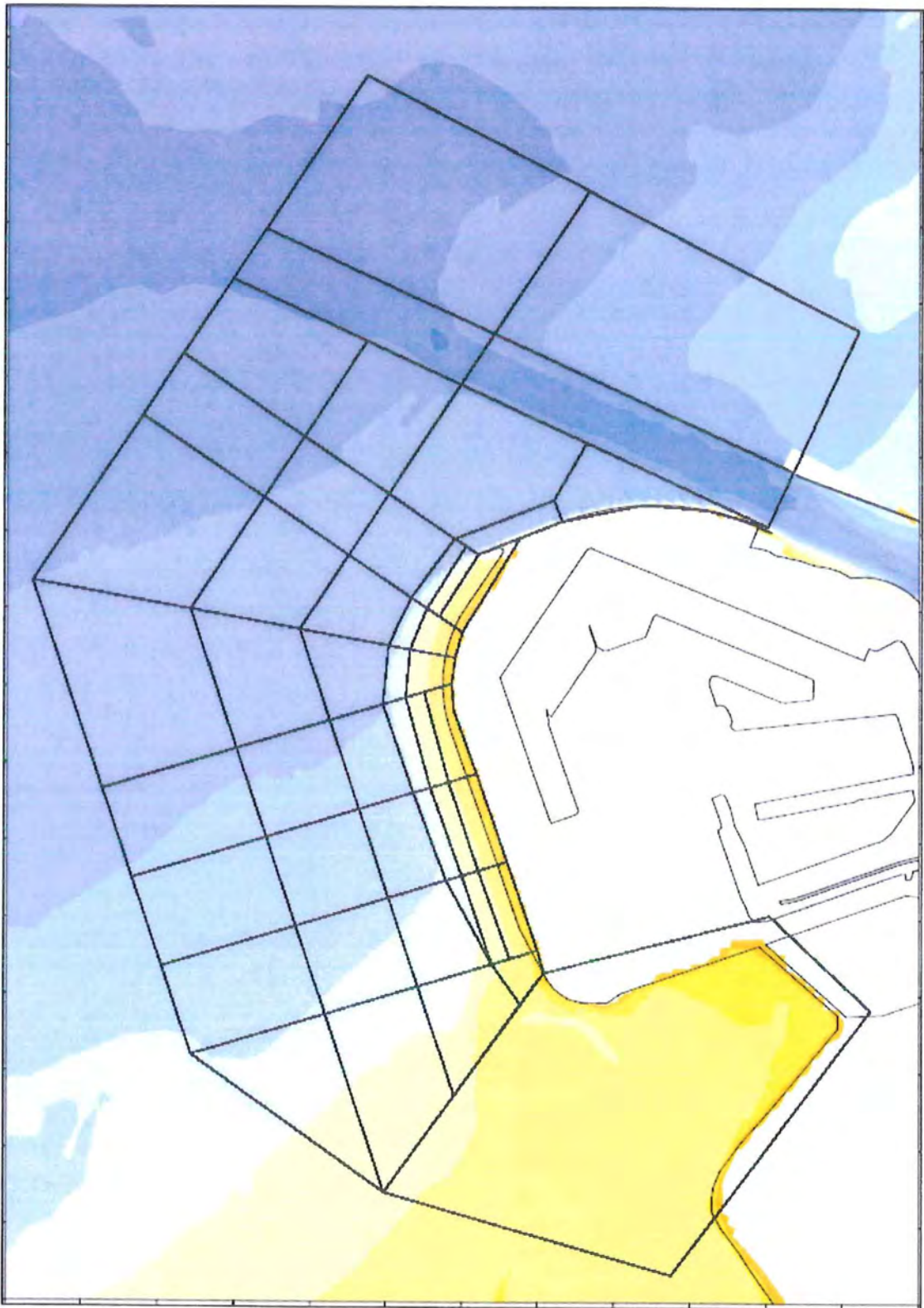
Tabel 2.1: Overzicht kenmerken beschouwde situaties

| | Bestaande situatie | Doorsteekalternatief | |
|----------------------------------------------------------------------|--------------------|----------------------|--------|
| | | Eindsituatie | fase 1 |
| Kustnormaal oriëntatie (° t.o.v. N) | | | |
| - noordelijk deel | 303 | 303 | 303 |
| - zuidelijk deel | n.v.t. | 251 | 251 |
| Locatie westelijke knik (in km) | | | |
| - afstand A (afstand westelijke knik tot E-M geul) | n.v.t. | 4,1 | 4,8 |
| - afstand B (afstand nieuwe noordelijke kustlijn t.o.v. Slufterkust) | n.v.t. | 4,3 | 3,7 |

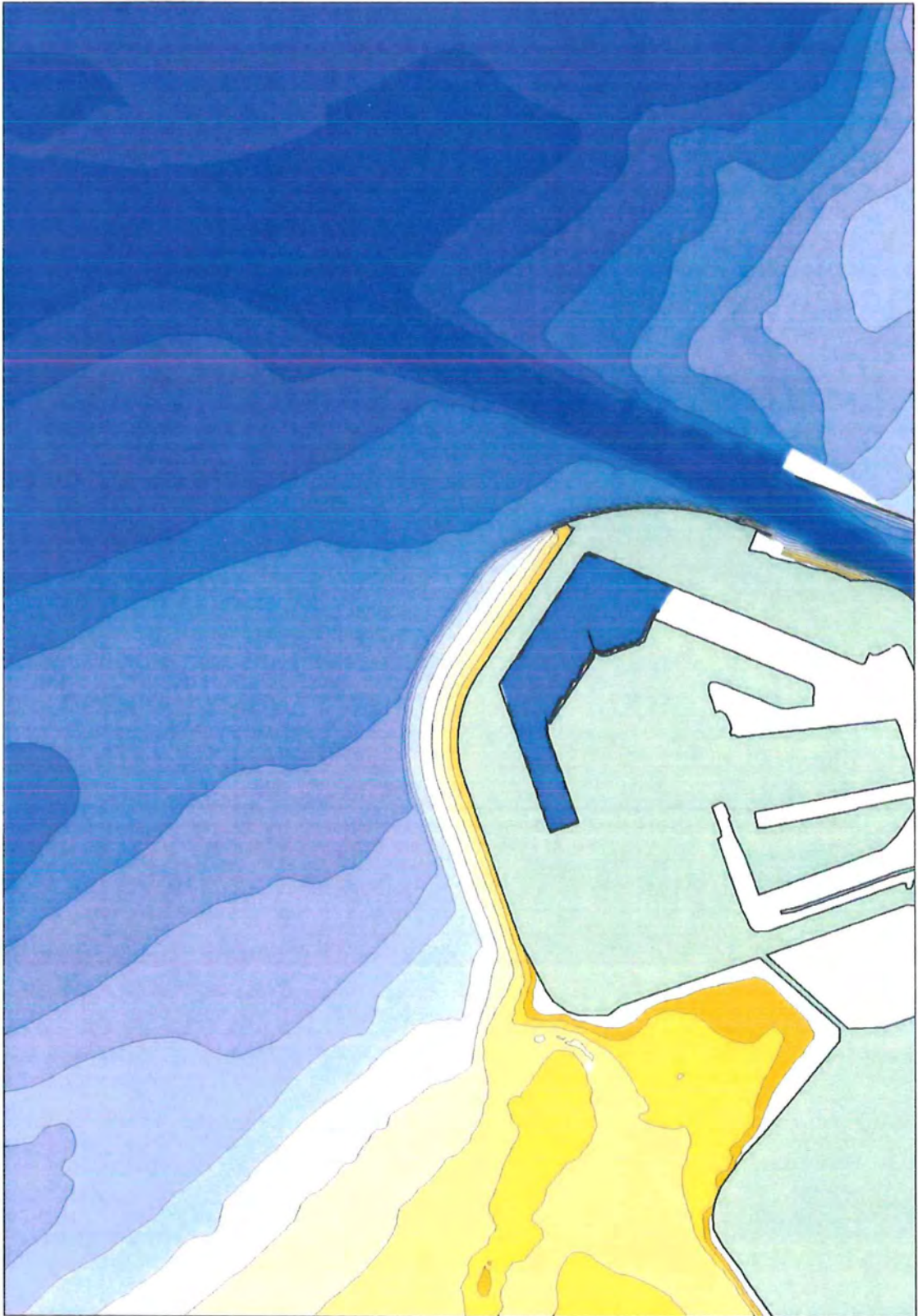
Korreldiameter

Er is een gemiddelde korreldiameter D_{50} van 285 μm aangehouden.

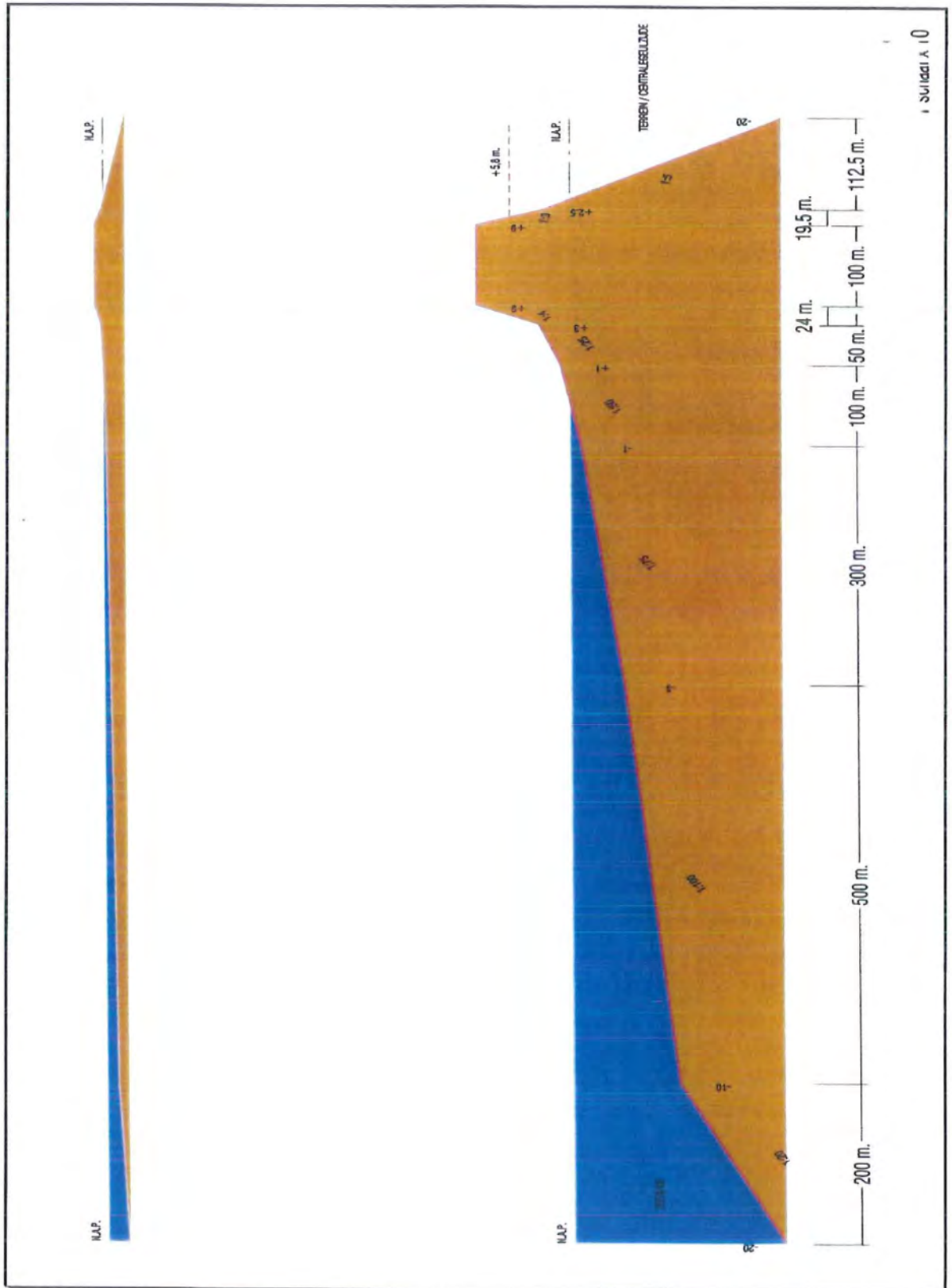
Er wordt nog opgemerkt dat het ontwerpprofiel oorspronkelijk was gebaseerd op het toepassen van zand met een gemiddelde korreldiameter van $D_{50} = 250 \mu\text{m}$. Dit betekent dat het ontwerpprofiel feitelijk te flauw is voor de gekozen korreldiameter.



Figuur 2.3a: Lay-out Doorsteek variant, eindsituatie



Figuur 2.3b: Lay-out Doorsteek variant, fase 1 (700 ha)



Figuur 2.4: Ontwerpprofiel zachte zeewering landaanwinning [5]

3 Kustonderhoud

3.1 Bestaande situatie

Schattingen kustonderhoud

De schatting van het kustonderhoud heeft betrekking op het kustvak van het Slufterdepot. Bij het ontwerp van het Slufterdepot werd de erosie van de Slufterkust in de Projectnota/MER [6] geschat op $500.000 \text{ m}^3/\text{j}$ à $1.000.000 \text{ m}^3/\text{j}$ ($750.000 \text{ m}^3/\text{j}$) op basis van een korreldiameter van circa $130 \mu\text{m}$. Wanneer de dam zou worden onderhouden met grover zand werd een reductie van het onderhoud verwacht tot $340.000 \text{ m}^3/\text{j}$ à $740.000 \text{ m}^3/\text{j}$ ($500.000 \text{ m}^3/\text{j}$, Werkgroeprapport 1985 [7]).

In de studie 'Morfologisch onderzoek GLBB, "optimalisering en onderhoudsbepaling alternatief IIII" [8] werd de verwachte erosie van de Slufterkust verder gereduceerd tot $210.000 \text{ m}^3/\text{j}$ à $350.000 \text{ m}^3/\text{j}$ ($270.000 \text{ m}^3/\text{j}$), uitgaande van een korreldiameter $D_{50} = 250 \mu\text{m}$ en enkele aanpassingen in de geometrie van de buitencontour van de Slufterdam.

Uitgevoerde suppleties

Langs de Slufterkust zijn in de negentiger jaren meerdere (strand-)suppleties uitgevoerd om de standzekerheid van de Slufterdam te garanderen. Tabel 3.1 (uit [3]) geeft een overzicht van het uitgevoerde onderhoud in de periode 1991-2001.

In [10] wordt de structurele erosie van de huidige Slufterkust in de periode 1990-1999 geschat op $770.000 \text{ m}^3/\text{j}$. Op basis van morfologisch onderzoek dat is uitgevoerd in het kader van EC-PMR [11] is aangetoond dat het grootste deel hiervan, ca. $500.000 \text{ m}^3/\text{j}$, kan worden verklaard aan de hand van de afvoer van zand in noordwaartse richting langs de Slufterkust. Bovendien treedt er een blijvend zandverlies van ca. 200.000 à $300.000 \text{ m}^3/\text{j}$ in zuidwaartse richting op naar het gebied van de Haringvlietmond. Dit zandverlies wordt toegeschreven aan de bruto zuidwaartse transporten vanaf de Slufterkust naar het gebied ten zuiden van de Slufter en de transportprocessen op de buitendelta van het Hindergat. Er kunnen daarbij relatief grote jaarlijkse variaties ($\pm 40\%$) optreden in de optredende langtransporten onder invloed van variaties in het golfklimaat (golfhoogte en -richting).

Tot halverwege de jaren negentig werd nog uitgegaan van een suppletie behoefte van ongeveer $200.000 \text{ m}^3/\text{j}$ [12]. Vanaf 1996 werd duidelijk dat het noodzakelijk was om meer zand te suppleren. In de jaren 1996 en 1997 waren de onderhoudshoeveelheden aan de Slufterdam groter dan in de jaren daarna. In [10] wordt dit onder meer toegeschreven aan een inhaalslag op het uitgesteld onderhoud aan de Slufterdam. Bovendien kan ook het gebruik van fijn suppletiemateriaal (met D_{50} waarden tussen $145 \mu\text{m}$ en $185 \mu\text{m}$) van invloed zijn geweest op de hoeveelheden, alsmede meer grootschalige bodemveranderingen in de Haringvlietmond; het noordelijk deel van de Hinderplaat is namelijk in de jaren negentig verlaagd en verder oostwaarts opgeschoven waardoor de Slufterkust meer zand verliest.

Tabel 3.1: Uitgevoerde suppleties 1991-2001 [3]

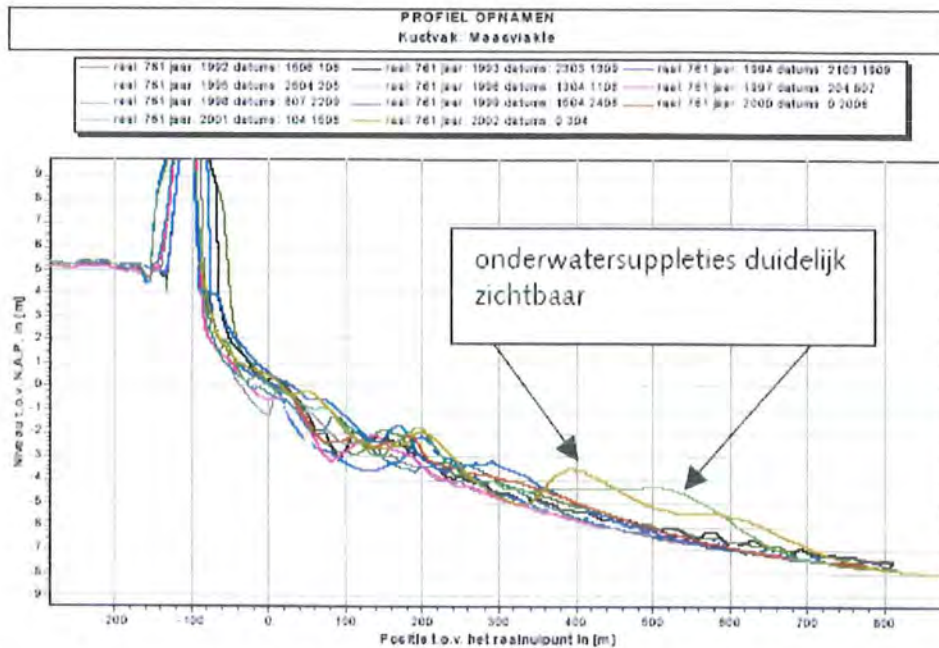
| Jaar | Hoeveelheid (m ³) | Van km tot km | m ³ per m strand | Locatie | Herkomst van zand |
|-------------------|-------------------------------|---------------|-----------------------------|-------------|--------------------------------------------------------------|
| 1991 | 100.000 | 9 – 10,4 | 71 | Slufterdam | Strandhaak zuidzijde |
| 1992 | 960.000 | 9 – 10,4 | 868 | Slufterdam | Euro-Maasgeul; <20 km |
| 1996 | 2.045.197 | 7 – 10,15 | 649 | Slufterdam | Amazonehaven ; D ₅₀ = 165 µm (145 µm – 190 µm) |
| 1997 | 2.727.113 | 6,5 – 10,2 | 774 | Slufterdam | Euro-Maasgeul; <20 km |
| 1998/1999 | 1.266.254 | 7 - 8,3 | 974 | Slufterdam | Amazonehaven ; D ₅₀ = 165 µm (145 µm – 190 µm) |
| 2000 | 1.200.000 | | | Onder water | Loswal Noord; D ₅₀ circa 200 – 250 µm |
| 2000/2001 | 600.000 | | | Op strand | Loswal Noord; D ₅₀ circa 200 – 250 µm |
| 2001 | 1.000.000 | | | Onder water | |
| Totaal sinds 1991 | 9.898.564 | | | | |
| gemiddeld/jaar | 900.000 | | | | |

De laatste suppleties zijn uitgevoerd in de periode 2000-2001 (nl.: 2x vooroeversuppleties en 1x strandsuppletie). Het voor deze strandsuppleties toegepaste zand was enigszins grover dan het bij eerdere suppleties gebruikte zand. Ook werd voor het eerst in het gebied een vooroeversuppletie of onderwatersuppletie toegepast.

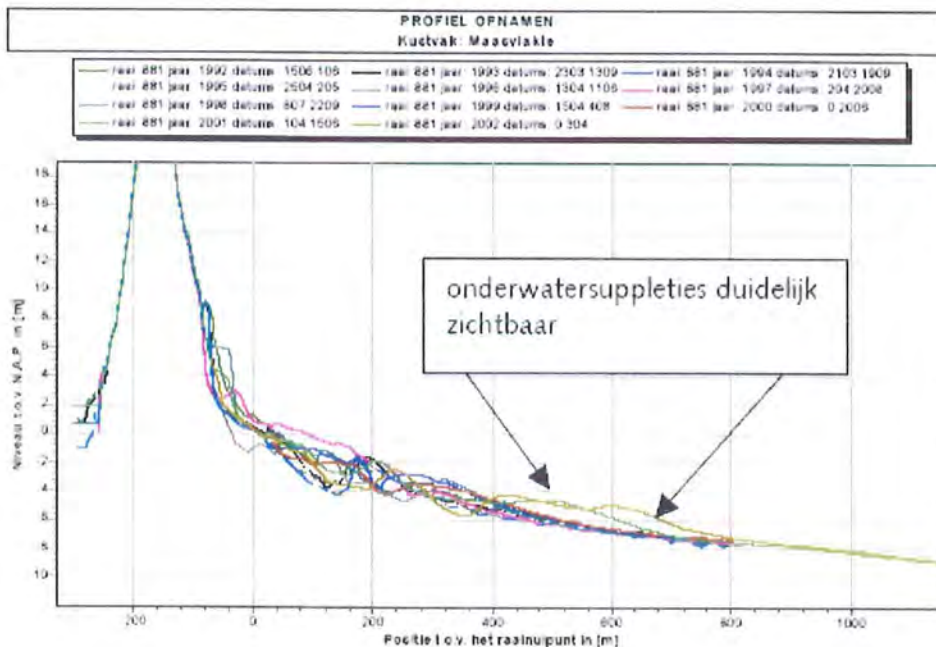
Met deze onderwatersuppleties wordt een verdere afname van de erosiesnelheid van de kust beoogd (langzamere terugschrijding MKL). De periode na uitvoering van deze suppleties is momenteel echter nog te kort om een goed oordeel te kunnen vormen over de effectiviteit van deze suppleties; er is namelijk slechts één meetpunt beschikbaar. Wel blijkt dat de onderwatersuppleties zich momenteel als een zandbuffer voor de kust bevinden. Een eerste analyse geeft ook een afname van de erosiesnelheid te zien. Het lijkt er dus op dat de onderwatersuppleties een positieve invloed hebben en een afname van de erosie bewerkstelligen [13].

Profielontwikkelingen

In figuur 3.1a en 3.1b (uit [24]) worden waargenomen profielontwikkelingen van het Slufterstrand gepresenteerd voor de periode 1992-2002 op basis van de gegevens voor raai 761 en 861. Uit de dwarsprofielen blijkt overduidelijk de erosie van het strand en de duinvoet. In de beginperiode, rond 1992, blijkt dat de buffer op het strand van de Slufterdam volledig is geërodeerd. Dit heeft echter niet geleid tot de instelling van het beoogde evenwichtsprofiel. Klaarblijkelijk is zand uit de buffer in langsrichting afgevoerd en daarmee niet of slechts gedeeltelijk beschikbaar gekomen voor het laten ontstaan van het evenwichtsprofiel. De erosie van het duinfront gaat door in de periode tot 1995. Pas in 1997 is enig herstel waarneembaar, als gevolg van de in 1996 en 1997 uitgevoerde duin- en strandsuppleties. Dankzij de suppleties lijkt het profiel zich richting het beoogde evenwicht te bewegen. Op dieper water zijn de profielaanpassingen minder spectaculair. De bodemveranderingen beneden NAP – 5 m zijn relatief klein. In de laatste periode (2000-2002) zijn de twee onderwatersuppleties uitgevoerd. De onderwatersuppleties zijn als verondieping meer zeewaarts in het profiel te herkennen. In de tijd lijkt deze verondieping zich richting strand te verplaatsen.



Figuur 3.1a: waargenomen profielontwikkelingen Slufterstrand, periode 1993-1997 (gegevens raai 761)

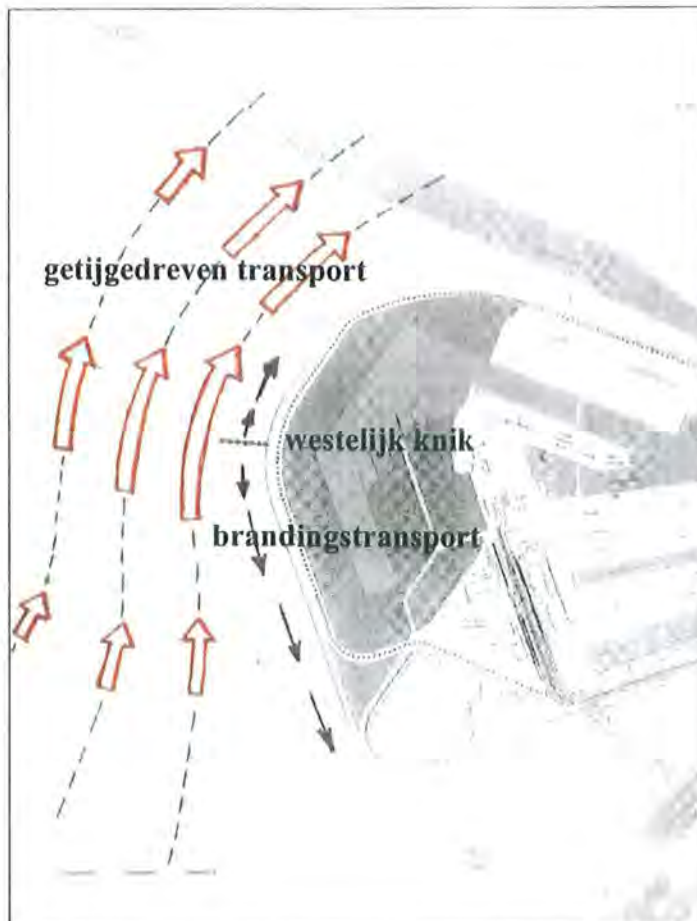


Figuur 3.1b: waargenomen profielontwikkelingen Slufterstrand, periode 1993-1997 (gegevens raai 881)

3.2 Doorsteek variant

Op basis van het uitgevoerde morfologisch onderzoeken ([14], [15] en [16]) kan worden geconcludeerd dat de verschillende situaties die bij de Doorsteek variant in beschouwing worden genomen onderling grote overeenkomsten vertonen wat betreft de mechanismen die bepalend zijn voor het kustonderhoud.

Het globale transportbeeld (figuur 3.2) kan worden getypeerd door een groot noordwaarts getij-gedreven zandtransport ter plaatse van de vooroever, ten westen van MV2 ter hoogte van de knik in de kustlijn, een relatief gering getij-gedreven transport voor de zuidwestkust van MV2 (buiten de teenlijn van het opgespoten kustprofiel), een noordwaarts gericht golf-geïnduceerde brandingstransport langs de noordwestkust van MV2 (ter hoogte van de knik en ten noorden hiervan) en een zuidwaarts gericht brandingstransport langs de zuidwestkust van MV2 (ten zuiden van de knik).



Figuur 3.2: Globale transportbeeld Doorsteekvariant

Langs de zachte zeevering treedt met name erosie op ter hoogte van de westelijke knik in de kustlijn. De zandverliezen in dit kustvak worden veroorzaakt door zandtransporten ten gevolge van de brandingsstroming, maar ook de (contractie van de) getijstrooming levert hieraan een bijdrage. Ook in het aangrenzende meer noordelijk gelegen kustvak treedt erosie op. Het meer zuidelijke gelegen kustvak is daarentegen stabiel.

Op de vooroever, aan de westzijde van MV2, ontwikkelt zich een grootschalig ontgrondingsgebied als gevolg van de contractie van de getijstrooming. Dit veroorzaakt een toename van de aanzanding in de Euro-Maasgeul. Het verloop van de aanzanding is afhankelijk van de locatie van de ontgrondingskuil en de mate van contractie. Dit laatste is weer afhankelijk van de afstand die de (westelijke knik van de) buitencontour in zee uitsteekt.

Voor het bepalen van de zandverliezen en het kustonderhoud van MV2 is verondersteld dat alleen de eroderende kustvakken door middel van suppleties worden onderhouden (met zand "van buiten" het kustsysteem). Eventueel aanzandende kustvakken blijven daarbij buiten beschouwing. In lengterichting wordt de hele zachte zeewering beschouwd; in dwarsrichting houden we als ondergrens de NAP – 8 m dieptelijn aan. Dit is een middenweg tussen het onderhoud van de gehele kustzone, inclusief het fundament, en het onderhoud van de ondiepe zone vanwege de noodzakelijke veiligheid. Bij de bepaling van het kustonderhoud wordt dus geen rekening gehouden met eventuele erosie door de contractie van de getijstrooming ter plaatse van de teen van het aanlegprofiel.

Het kustonderhoud van de Doorsteek variant kan ook beïnvloed worden door resulterende land- of zeewaartse golfgeïnduceerde dwarstransporten. Bij de bepaling van het kustonderhoud is de bijdrage van dwarstransporten echter buiten beschouwing gelaten. Uit gevoeligheidsberekeningen [17] blijkt namelijk, uitgaande van een korreldiameter D_{50} van 285 μm , dat bij nagenoeg alle doorgerekende gevallen er sprake is van een landwaarts gericht dwarstransport. Een belangrijk punt is ook dat de bijdrage in het onderhoud door het langstransport bij toepassing van dit relatief grove zand dominant is in vergelijking met de bijdrage door dwarstransport. Bij de bepaling van het kustonderhoud is besloten om bij een korreldiameter D_{50} van 285 μm geen rekening te houden met zandaanvoer door dwarstransport.

Hieronder wordt het totale kustonderhoud van de verschillende situaties gegeven. Als referentie wordt ook het onderhoud voor Referentie ontwerp I (=alternatief Ia1) vermeld.

| | |
|----------------------------------------|-----------------------------------|
| - Doorsteek alternatief, eindsituatie: | 0,6 miljoen m^3/j |
| - Doorsteek alternatief, fase 1: | 0,5 miljoen m^3/j |
| - Referentie ontwerp 1 (Ia1): | 0,9 miljoen m^3/j |

Voor de verschillende situaties van de Doorsteek variant wordt hierna nog verder ingegaan op de onderhoudscijfers, inclusief een verdeling van erosie per kustvak.

A: Eindsituatie

westelijke knik

In noordwaartse richting bedraagt het zandverlies ongeveer 240.000 m^3/j . In zuidwaartse richting bedraagt dit ongeveer 200.000 m^3/j . Het totale zandverlies in langsrichting komt daarmee uit op ca. 440.000 m^3/j .

noordelijk gelegen kustvak

Voor het zandverlies langs het noordelijke kustvak wordt uitgegaan van een erosie hoeveelheid van ongeveer 130.000 m^3/j .

zuidelijk gelegen kustvak

Langs het zuidelijke kustvak dat ten zuiden van de knik ligt, worden geen noemenswaardige zandverliezen verwacht omdat hier sprake is van een brandingstransport dat over een betrekkelijk grote lengte constant is waardoor de af- en aanvoer min of meer in balans zijn.

totale kustonderhoud

Op basis van bovenstaande beschouwing per kustvak kan worden afgeleid dat voor de gehele zachte zeewering van de eindsituatie van de Doorsteek variant, uitgaande van een gemiddelde korreldiameter D_{50} van $285 \mu\text{m}$, rekening moet worden gehouden met een zandverlies van ongeveer $0,6 \text{ Mm}^3/\text{j}$ (om precies te zijn $570.000 \text{ m}^3/\text{j}$).

B: Fase 1

westelijke knik

In het kustvak ter hoogte van de westelijke knik bedraagt het zandverlies in noordwaartse richting ongeveer $150.000 \text{ m}^3/\text{j}$. In zuidwaartse richting is dat ongeveer $240.000 \text{ m}^3/\text{j}$. Het totale zandverlies in langsrichting voor dit kustvak komt daarmee op ca. $390.000 \text{ m}^3/\text{j}$. Dit is min of meer vergelijkbaar met het zandverlies in de eindsituatie (ca. $440.000 \text{ m}^3/\text{j}$).

noordelijk gelegen kustvak

Voor het zandverlies langs het noordwestelijke kustvak wordt uitgegaan van een erosie hoeveelheid van ongeveer $105.000 \text{ m}^3/\text{j}$.

zuidelijk gelegen kustvak

Langs het zuidelijke kustvak, ten zuiden van de knik, worden voor fase 1 eveneens geen noemenswaardige zandverliezen verwacht.

totale kustonderhoud

Op basis van bovenstaande beschouwing per kustvak kan worden afgeleid dat voor de gehele zachte zeewering voor fase 1 van de Doorsteek variant, eveneens uitgaande van een gemiddelde korreldiameter D_{50} van $285 \mu\text{m}$, rekening moet worden gehouden met een zandverlies van ongeveer $0,5 \text{ Mm}^3/\text{j}$ (om precies te zijn $495.000 \text{ m}^3/\text{j}$).

4 Aanzanding Euro-Maasgeul

4.1 Bestaande situatie

De aanzanding van de Euro-Maasgeul is bepaald aan de hand van baggergegevens voor de periode 1985-1999. De baggerhoeveelheden zijn afkomstig van RWS-Directie Noordzee. Voor dit onderdeel zijn de gegevens gebruikt over de eerste vijf kilometer, gemeten vanaf een denkbeeldige lijn door de meest zeewaartse havenlichten ($x=0$: uiteinde Noorderdam). De oorspronkelijke baggergegevens (tonnen droge stof) zijn vertaald naar kubieke meters inclusief poriën. Tabel 4.1, overgenomen uit [11], geeft een overzicht van de jaarlijkse baggerhoeveelheden. Het gebaggerde materiaal in vak 0 - 1 km bevatte circa 10% slib < 63 μm . In de overige vakken was het slibgehalte van het gebaggerde materiaal verwaarloosbaar.

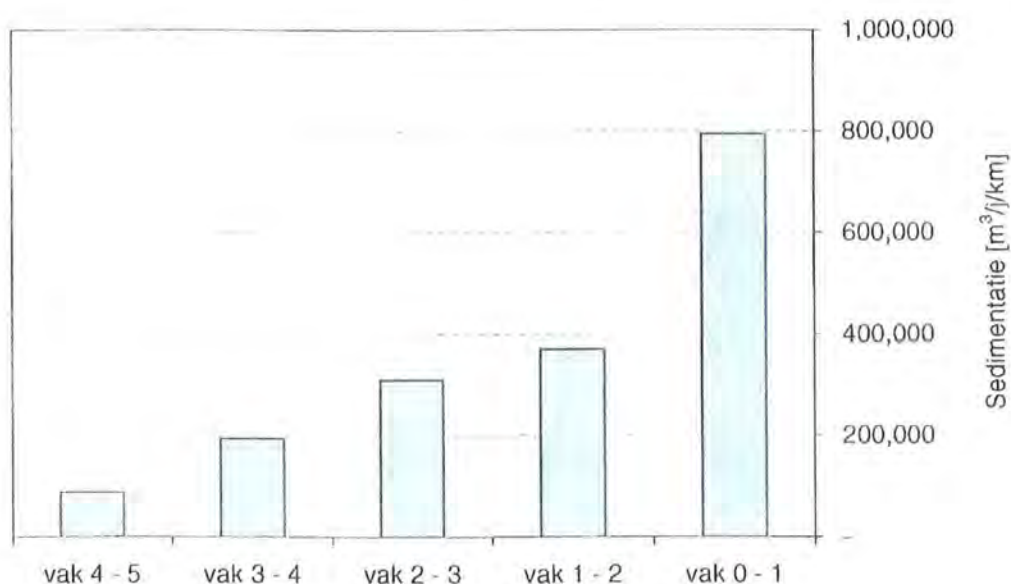
Tabel 4.1: Baggerhoeveelheden Euro-Maasgeul en aanzanding proefgeul
(in m^3 inclusief poriën)

| Uit Baggercijfers | | Proefgeul gemiddeld) | Totaal | 45% | 21% | 18% | 11% | 5% |
|-----------------------------------------|-----------|-------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| | | | | vak 0 - 1 | vak 1 - 2 | vak 2 - 3 | vak 3 - 4 | vak 4 - 5 |
| 1985 | 1,809,000 | | 1,809,000 | 814,000 | 380,000 | 318,000 | 199,000 | 90,000 |
| 1986 | 1,652,000 | | 1,652,000 | 743,000 | 347,000 | 290,000 | 182,000 | 83,000 |
| 1987 | 1,669,000 | | 1,669,000 | 751,000 | 350,000 | 293,000 | 184,000 | 83,000 |
| 1988 | 1,647,000 | | 1,647,000 | 741,000 | 346,000 | 289,000 | 181,000 | 82,000 |
| 1989 | 936,000 | | 936,000 | 421,000 | 197,000 | 164,000 | 103,000 | 47,000 |
| 1990 | 2,517,000 | | 2,517,000 | 1,133,000 | 529,000 | 442,000 | 277,000 | 126,000 |
| 1991 | 1,043,000 | | 1,043,000 | 469,000 | 219,000 | 183,000 | 115,000 | 52,000 |
| 1992 | 1,702,000 | | 1,702,000 | 766,000 | 357,000 | 299,000 | 187,000 | 85,000 |
| 1993 | 1,087,000 | | 1,087,000 | 489,000 | 228,000 | 191,000 | 120,000 | 54,000 |
| 1994 | 2,123,000 | | 2,123,000 | 955,000 | 446,000 | 373,000 | 234,000 | 106,000 |
| 1995 | 3,255,000 | | 3,255,000 | 1,465,000 | 684,000 | 572,000 | 358,000 | 163,000 |
| 1996 | 518,000 | 697,000 | 1,215,000 | 547,000 | 255,000 | 213,000 | 134,000 | 61,000 |
| 1997 | 483,000 | 697,000 | 1,180,000 | 531,000 | 248,000 | 207,000 | 130,000 | 59,000 |
| 1998 | 455,000 | 697,000 | 1,152,000 | 518,000 | 242,000 | 202,000 | 127,000 | 58,000 |
| 1999 | 648,000 | 697,000 | 1,345,000 | 605,000 | 282,000 | 236,000 | 148,000 | 67,000 |
| | | | Totaal | vak 0 - 1 | vak 1 - 2 | vak 2 - 3 | vak 3 - 4 | vak 4 - 5 |
| Gemiddeld over 85 - 95 (m^3) | | | 1,759,000 | 795,000 | 371,000 | 310,000 | 195,000 | 88,000 |
| Gemiddeld over 85 - 94 (m^3) | | | 1,611,000 | 728,000 | 340,000 | 284,000 | 178,000 | 81,000 |
| Gemiddeld over 85 - 99 (m^3) | | | 1,616,000 | 730,000 | 341,000 | 285,000 | 179,000 | 81,000 |
| Gemiddeld zonder 1995 (m^3) | | | 1,498,000 | 677,000 | 316,000 | 264,000 | 166,000 | 75,000 |

Het meeste baggerwerk is gerelateerd aan het "op diepte houden" van de Euro-Maasgeul. In de jaren 1996 - 1997 is op het zuidelijke talud van de Maasgeul een zogenaamde "proefgeul" gegraven. Deze proefgeul begint op een halve km afstand van de havenlichten ($x = 0,5 \text{ km}$). In de proefgeul is na aanleg geen baggerwerk uitgevoerd. Wel zijn er maandelijks lodingen verricht, zodat vrij nauwkeurig de verdeling van de verondieping in langsrichting van de geul te bepalen is. De gemiddelde aanzanding in de proefgeul voor de jaren 1996-1999 is opgeteld bij de baggerhoeveelheden.

Uit de totalen in tabel 4.1 blijkt dat de gemiddelde jaarlijkse baggerhoeveelheid in de eerste vijf km van de Maasgeul voor de periode 1985 - 1995 ruim 1,75 miljoen m³ bedroeg. Voor de periode 1985 - 1999 was dit iets minder, namelijk bijna 1,62 miljoen m³. Uit de gegevens blijkt dat de gemeten baggerhoeveelheden in de Euro-Maasgeul van jaar tot jaar aanzienlijk kunnen verschillen ($\pm 40\%$), met 1995 als opvallende uitschieter. Een verklaring voor de grote hoeveelheid baggerwerk in 1995 is niet voorhanden. Het is mogelijk dat hierbij de extreme rivierafvoer opgetreden eind januari / begin februari 1995 een rol speelt. Het betreffende percentage van $\pm 40\%$ geeft een aardige richtlijn voor de te hanteren bandbreedte m.b.t. de natuurlijke variatie.

In het histogram in figuur 4.1 is de gemiddelde aanzanding voor de 5 vakken weergegeven. Dit is in de verdere onderzoeken gebruikt om de berekeningsresultaten tegen af te zetten.



Figuur 4. 1 : Jaargemiddelde baggerwerk in Euro-Maasgeul

In [11] werd de aanzanding in de Euro-Maasgeul oorspronkelijk berekend op ruim 1,9 miljoen m³/j, op basis van het noordwaarts gericht transport over een 5,5 km lange raai ten zuiden van de Euro-Maasgeul. In een later onderzoek [16] is een consistentere methode toegepast waarbij de aanzanding is afgeleid op basis van het transportverschil over de noordelijke en zuidelijke geulrand (continuïteit).

Voor het transport over de noordelijke geulrand werd in 2000 [11] een noordwaarts gericht transport van 260.000 m³ per jaar berekend. In 2002 werd voor de huidige situatie nog een validatieberekening uitgevoerd met een recentere bodem [17]. Uit deze berekening volgde voor de raai ten zuiden van de Euro-Maasgeul een vergelijkbaar transport van ruim 1,9 miljoen m³ per jaar. Voor de noordelijke raai werd een transport van 100.000 m³ per jaar gevonden.

De uitgevoerde morfologische berekeningen komen dus voor de huidige situatie op een gemiddelde aanzanding van 1,7 miljoen m³ per jaar (op basis van continuïteit). Daarmee is de overeenkomst met de in werkelijkheid waargenomen hoeveelheid aanzanding goed.

4.2 Doorsteek variant

Bij de Doorsteek variant zal er een toename van de aanzanding in de Euro-Maasgeul optreden. Het belangrijkste mechanisme dat hierbij speelt is de ontwikkeling van een grootschalige ontgrondingskuil in het zeegebied ten westen van de landaanwinning. Deze ontgrondingskuil is het gevolg van contractie van de getijstroming. Als gevolg van een relatief groot resulterend noordwaarts getij-gedreven transport zal het ontgrondingsgebied zich in eerste instantie ter hoogte van de westelijke punt van de kustlijn ontwikkelen en zich in de loop van de tijd geleidelijk uitbreiden in noordwaartse richting. Een groot deel van het zand dat vrijkomt bij de ontwikkeling van de ontgrondingskuil wordt afgezet in de Euro-Maasgeul. Met de ontwikkeling van de ontgrondingskuil zal de aanzanding in de Euro-Maasgeul eerst toenemen om pas op langere termijn weer geleidelijk af te nemen tot ongeveer de oorspronkelijke waarde.

Ten opzichte van de bestaande situatie zal niet alleen de hoeveelheid aanzanding toenemen, maar de aanzanding zal zich ook over een groter gedeelte van de Euro-Maasgeul uitstrekken. De hieronder gepresenteerde aanzandingshoeveelheden hebben betrekking op het gebied t/m het Maascenter.

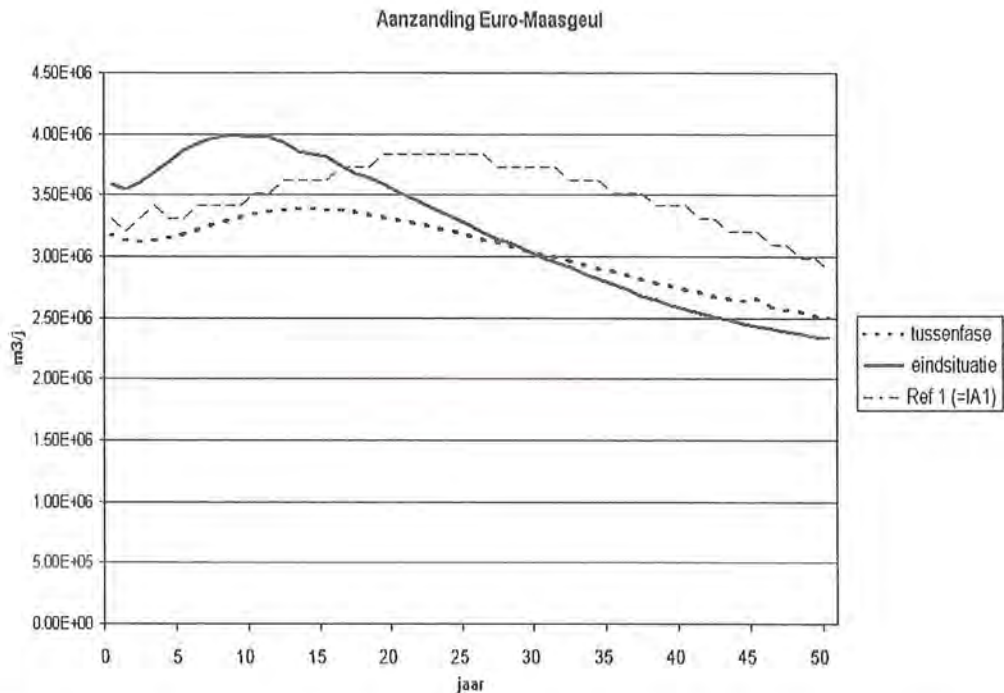
De aanzanding in de Euro-Maasgeul is zowel berekend op basis van initiële berekeningen met DELFT2D-MOR als op basis van lange termijn berekeningen met DELFT2D-RAM ([15] en [16]). De resultaten die hier worden gepresenteerd hebben betrekking op de toepassing van de consistente berekeningsmethode (zie paragraaf 4.1).

In tabel 4.2 worden voor de initiële situatie de aanzandingshoeveelheden in de Euro-Maasgeul voor de eindsituatie en fase 1 van de Doorsteek variant gegeven.

Tabel 4.2: Initiële aanzanding Euro-Maasgeul Doorsteek variant [16]

| Doorsteek variant | Gebied | S _{zuid} [Mm ³ /j] | S _{noord} [Mm ³ /j] | ΔV [Mm ³ /j] |
|-------------------|----------------|-------------------------------------------|--------------------------------------------|----------------------------|
| Eindsituatie | t/m Maascenter | 4,1 | 0,5 | 3,6 |
| Fase 1 | t/m Maascenter | 3,7 | 0,5 | 3,2 |

In figuur 4.2 wordt voor de alternatieven van het Doorsteek alternatief het verloop van de aanzanding over een periode van 50 jaar weergegeven volgens de nieuwe consistente berekeningsmethode. Ter vergelijking wordt in deze figuur ook de aanzanding voor het alternatief Ia1 (=Referentie ontwerp I) gegeven volgens dezelfde methode. Voor de eindsituatie wordt het maximum na 10 jaar 4,0 miljoen m³/j. Voor de tussenfase is dat maximum na 15 jaar 3,4 miljoen m³/j. Na 50 jaar bedraagt de aanzanding voor zowel de tussenfase als de eindfase ca. 2,4 à 2,5 miljoen m³/j. Dat is ruim 40% meer dan de hoeveelheid die voor de bestaande situatie geldt. Voor alternatief IA1 bereikt de aanzanding pas een maximum van 3,8 miljoen m³/j na 25 jaar. Na 50 jaar bedraagt de aanzanding voor het betreffende alternatief nog steeds ca. 2,9 miljoen m³/j.



Figuur 4.2: Verloop aanzanding Euro-Maasgeul over periode van 50 jaar (Doorsteek variant – eindsituatie/fase 1 en Ref. Ontwerp I)

In tabel 4.3 worden voor de twee situaties van de Doorsteek variant nogmaals een overzicht gegeven van de gemiddelde onderhoudshoeveelheid voor 3 verschillende perioden gedurende de totale 50 jaar. Ter vergelijking is ook weer de hoeveelheid opgenomen zoals volgens de nieuwe methode is afgeleid voor alternatief Ia1 (= Referentie ontwerp 1). Gesteld kan worden dat de optredende verschillen tussen fase 1 en de eindsituatie vrij marginaal zijn, zeker wanneer deze in relatie worden beschouwd tot de geldende bandbreedte.

Tabel 4.3: Schatting onderhoudshoeveelheden Euro-Maasgeul gedurende 50 jaar

| | Geulonderhoud direct na aanleg (miljoen m ³ /jaar) | Geulonderhoud 10-15 jaar na aanleg (miljoen m ³ /jaar) | Geulonderhoud 50 jaar na aanleg (miljoen m ³ /jaar) |
|----------------------------|---------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------|
| Doorsteek – Fase 1 | 3,2 | 3,4 | 2,5 |
| Doorsteek - Eindsituatie | 3,6 | 4,0 | 2,4 |
| Alt. Ia1 – Set 1 (= Ref 1) | 3,3 | 3,8 ^{*)} | 2,9 |

^{*)} maximum na 25 jaar

5 Betrouwbaarheid, bandbreedte en onzekerheden

5.1 Betrouwbaarheid

In de afgelopen jaren zijn er in het kader van SM2V en EC-PMR met behulp van morfodynamisch procesmodellen meerdere onderzoeken uitgevoerd naar de effecten van een uitbreiding van de Maasvlakte met als aandachtspunten o.a. de stabiliteit en het kustonderhoud van de zachte zeewering van MV2, de aanzanding in de Euro-Maasgeul en de bodemontwikkelingen in de Haringvlietmond. Voor het beantwoorden van deze onderzoeksvragen werd steeds gebruik gemaakt van de meest recente operationele rekenconcepten. Een overzicht van alle uitgevoerde onderzoeken is opgenomen in bijlage 1.

In het kader van deze onderzoeken is steeds veel gedaan om de betrouwbaarheid van de modellen te toetsen en om na te gaan waar de zwakke schakels zitten. Allereerst is in het kader van het Kleinschalig Morfologisch Onderzoek [18] het door WL ontwikkelde modelinstrumentarium zo goed mogelijk afgeregeld op basis van waargenomen ontwikkelingen in de Haringvlietmond in de jaren negentig. Tijdens het Bandbreedte onderzoek in 2001 [19] is hieraan een vervolg gegeven door veel aandacht te besteden aan de modelvalidatie op basis van de waargenomen veranderingen in de hoogteligging van het betreffende gebied.

Het onderzoek in [11] was speciaal gericht op het toekomstige kustonderhoud van MV2, de ontwikkeling van een ontgrondingskuil in de vooroever en de onderhoudsbehoefte van de Euro-Maasgeul. Hierbij werd begonnen met het narekenen van waargenomen ontwikkelingen m.b.t. het zandverlies van de Slufterkust, de waargenomen aanzanding in de Euro-Maasgeul en de globale bodemveranderingen in het zeegebied ten zuiden van de Maasgeul. De conclusie was dat het model in het algemeen een goede overeenkomst met de metingen vertoonde; verschillen konden met aanvullende interpretatie worden verklaard.

Het vervolgonderzoek in 2002 [17] werd uitgevoerd met dezelfde modellen. Vanwege voortdurende verbeteringen en aanpassingen van de betreffende programmatuur werd als eerste stap een controleberekening uitgevoerd voor één van de MV2-varianten uit het onderzoek uit 2000. Daarmee werd de continuïteit in onderzoeksresultaten gewaarborgd. De volgende stap bestond uit het doorrekenen van de huidige situatie waarbij werd uitgegaan van de meest recente modelbodem uit 1999/2000. Deze uitkomsten zijn weer vergeleken met resultaten uit eerder onderzoek. Ook werd in het kader van dit onderzoek veel aandacht besteed aan de gevoeligheden van de modellen voor verschillende parameters.

Uit het bovenstaande overzicht mag duidelijk zijn dat er in de loop der tijd veel ervaring is opgedaan met de wijze waarop de toegepaste morfologische modellen voor de situaties met MV2 varianten aangestuurd dienden te worden en er veel kennis is verzameld over de beperkingen en onzekerheden wat betreft het voorspellend vermogen van de toegepaste modellen. Voor een deel is dit het resultaat van voortschrijdend inzicht waar het doorrekenen van de huidige situatie in belangrijke mate aan heeft bijgedragen.

De uitvoering van de betreffende morfologisch onderzoeken door een samenwerkingsverband van twee gerenommeerde (wetenschappelijke) onderzoeksinstituten (nl.: Alkyon/WL|Delft Hydraulics) gaf de mogelijkheid om alle beschikbare deskundigheid in te zetten. Daarbij

werden de beste garanties en waarborgen geboden voor kwalitatieve en hoogstaande onderzoeksresultaten.

Verdere waarborgen voor door alle partijen gedragen en gezaghebbende uitkomsten werden verkregen door de begeleiding van het onderzoek vanuit RIKZ, het inschakelen van externe adviseurs (TU-Delft) tijdens de uitvoering van de onderzoeken, het organiseren van expert bijeenkomsten en het uitvoeren van reviews en audits op de onderzoeksresultaten van EC-PMR.

Enkele kritische kanttekeningen uit de externe audit op het overkoepelende EC-PMR rapport [31] zijn hierna aangegeven.

- 1) *Naar aanleiding van de toetsing door RWS-Directie Zuid-Holland en Directie Noordzee is specifieke aandacht gevraagd voor de aspecten die van invloed zijn op de RWS beheerderbelangen, zoals het onderhoud op de lange termijn, de bandbreedte in het onderhoud, de invloed van een Maasvlakte op de sluffer en een economische afweging bij de keuze van de korrel grootte van het suppletiezand.*
- 2) *Als resterend punt van discussie naar aanleiding van de externe toetsing door experts van RWS wordt nog vermeld dat de nodige twijfel bestaat over de effectiviteit van de korreldiameter op de reductie van het kustonderhoud voor de landaanwinning. Het gaat daarbij met name om de mathematisch-fysische modellering van het zandtransport.*

De uitgangspunten en de toegepaste modellen voor de onderzoeken die zijn uitgevoerd na de EC-PMR periode ([14], [15] en [16]) waren identiek aan de eerder uitgevoerde onderzoeken. Wel is bij de laatste onderzoeken een andere taakverdeling aangehouden. De betrokkenheid van het consortium Alkyon/WL|Delft Hydraulics heeft zich bij deze onderzoeken beperkt tot het uitvoeren van de berekeningen en de beoordeling/interpretatie van de berekeningsresultaten, terwijl de eindrapportage in handen was van Infram.

5.2 Bandbreedte

De voorspellingen van het toekomstig kustonderhoud en de aanzanding van de Euro-Maasgeul zijn onderhevig aan een aantal onzekerheden waardoor het onderhoud in werkelijkheid zowel groter als kleiner zou kunnen uitvallen.

Bij het onderzoek in 2000 [11] werden verschillende processen en verschijnselen geïdentificeerd die een rol kunnen spelen bij het uiteindelijke kustonderhoud. De schatting van de onzekerheden betrof een kwalitatieve schatting. In het betreffende onderzoek is niet specifiek ingegaan op de gevoeligheden van de modeluitkomsten voor de verschillende modelparameters. Uitgaande van een korreldiameter $D_{50} = 160 \mu\text{m}$ zou het zandverlies 0,5 miljoen m^3/j lager of 1,0 miljoen m^3/j hoger kunnen uitvallen. Als gerekend zou zijn met een D_{50} van $250 \mu\text{m}$ in plaats van $160 \mu\text{m}$ dan zouden de transporten in de brandingszone ongeveer 30% tot 50% kleiner kunnen zijn. Bij de kwantificering van het onderhoud is hiervoor in het betreffende onderzoek steeds gerekend met 30%. In eerste instantie is aangenomen dat deze reductie eveneens van toepassing is op de gespecificeerde onzekerheidsmarges.

Naderhand is bij het onderzoek van Alkyon/WL|Delft Hydraulics in 2002 [17] extra aandacht geschonken aan de bandbreedte van de onderzoeksresultaten. Daarvoor zijn verkennende berekeningen uitgevoerd waarbij het effect is nagegaan van verschillende parameters die van invloed zijn op de modeluitkomsten.

Er werd daarbij onderscheid gemaakt tussen 2 bronnen van onzekerheid. Allereerst betreft dat de inherente onzekerheden als gevolg van de stochasticiteit/variabiliteit van de natuur (type 1). De belangrijkste variatie hierbij betreft de natuurlijke variatie in hydraulische condities (golf-, wind- en stroomcondities). Hierdoor kunnen de zandtransporten van jaar tot jaar aanzienlijke verschillen vertonen. Ten tweede betreft het de zogenaamde epistemologische onzekerheden, d.w.z. de onzekerheden met betrekking de kennis (of beter: het gebrek aan kennis) over het fysische systeem en de modellering ervan. Hierbij kan een onderscheid worden gemaakt tussen statistische onzekerheden wat betreft de invoerparameters en systematische afwijkingen als gevolg van modelmatige onzekerheden, schematisering processen, modeffecten (type 2/3).

Omdat beide bronnen van onzekerheden als onafhankelijk van elkaar kunnen worden beschouwd is de gecombineerde bandbreedte bepaald d.m.v. kwadratisch optelling.

Op voorhand is bij de uitgevoerde berekeningen een selectie gemaakt van de parameters die een aanzienlijke bijdrage leveren aan de variatie van de modelresultaten. Ondanks het grote aantal berekeningen is er nog geen sprake van een systematische gevoeligheidsanalyse. De berekende bandbreedtes staan dus niet voor een statistische verdeling. Daarvoor zouden veel meer gevoeligheidsberekeningen moeten worden uitgevoerd. Dergelijke berekeningen zouden wel een waardevolle bijdrage kunnen leveren aan het inzicht m.b.t. het gedrag van het morfologisch model. De indruk bestaat dat de uitgevoerde berekeningen een goede maat zijn voor de maximale afwijkingen die te verwachten zijn (vergelijkbaar met 2σ).

Naast het effect van verschillende parameters is in de bandbreedte ook rekening gehouden met onzekerheden die veroorzaakt worden door beperkingen in het voorspellend vermogen van het toegepaste modelinstrumentarium. Voor het kustonderhoud betreft dat bijvoorbeeld de transportverschijnselen tijdens zware stormen en de bijdrage hiervan aan onderhoud. Voor de aanzanding in de Euro-Maasgeul heeft dat bijvoorbeeld betrekking op de ontwikkeling van de ontgrondingskuil en de plaats van depositie van het uit de ontgrondingskuil vrijkomend sediment.

Er is gekozen om het effect van dergelijke onzekerheden te vertalen in de bandbreedte en niet te laten doorwerken in de gemiddelde schatter voor het optredende onderhoud.² Voor het bepalen van de verschillende bijdragen werd gebruik gemaakt van een kwantitatieve schatting of een expert beoordeling.

In tabel 5.1a en 5.1b worden de door Alkyon/WL|Delft Hydraulics [17] gespecificeerde bandbreedtes weergegeven zowel voor de situatie direct na aanleg als na 20 jaar. In de bandbreedte die is aangenomen voor 20 jaar komt tot uitdrukking dat de onzekerheid van morfologische ontwikkelingen toeneemt naarmate de tijdshorizon verder weg ligt.

² Een opéénstapeling van de doorwerking van de onzekerheden in de centrale schatter zou leiden tot zeer conservatieve onderhoudshoeveelheden.

Deze bandbreedtes hebben alleen betrekking op de langtransporten onder invloed van golven en stroming.

Tabel 5.1a: Bandbreedte kustonderhoud, studie Alkyon/WL (2002)

| tijdstip | type 1 (=golfklimaat) | | type 2/3 (=modelonzekerheden) | | combinatie | |
|----------|--------------------------|------------|----------------------------------|------------|-------------|-------------|
| | bovengrens | ondergrens | bovengrens | ondergrens | bovengrens | ondergrens |
| t=0 | +30% | -60% | +50% | -50% | +58% | -78% |
| t=20 jr | +30% | -60% | +60% | -60% | +67% | -85% |

Tabel 5.1b: Bandbreedte aanzanding Euro-Maasgeul, studie Alkyon/WL (2002)

| tijdstip | type 1 (=golfklimaat) | | type 2/3 (=modelonzekerheden) | | combinatie | |
|----------|--------------------------|------------|----------------------------------|------------|-------------|-------------|
| | bovengrens | ondergrens | bovengrens | ondergrens | bovengrens | ondergrens |
| t=0 | +30% | -30% | +30% | -30% | +42% | -42% |
| t=20 jr | +30% | -30% | +50% | -50% | +58% | -58% |

Opgemerkt wordt dat de afwijkende waarden voor de bovengrens en de ondergrens in tabel 5.1a eerder bepaald worden door een arbitraire keuze van de doorgerekende waarden van de parameters bij de gevoeligheidsberekeningen dan dat daarvoor een fysische oorzaak bestaat. Bij verdere beschouwingen van de bandbreedte is daarom voor de ondergrens en bovengrens steeds een gelijke waarde gebruikt.

Voor de onzekerheden m.b.t. het kustonderhoud van de landaanwinning blijkt voor een willekeurig jaar een relatief grote bandbreedte te bestaan van vele tientallen procenten ($\pm 70\%$). Voor een gemiddeld jaar is de bandbreedte ca. 15% kleiner ($\pm 55\%$).

De onzekerheden m.b.t. de aanzanding in de Euro-Maasgeul blijken getalsmatig weliswaar iets kleiner te zijn dan die bij het kustonderhoud, maar, de onzekerheden zijn nog steeds nagenoeg van dezelfde orde van grootte. Met meer dan enkele tientallen procenten ($\pm 50\%$) is er ook hier sprake van een relatief grote bandbreedte. Voor een gemiddeld jaar is de bandbreedte ca. 10% kleiner ($\pm 40\%$).

Het is niet mogelijk om de onzekerheid volledig te reduceren vanwege het verband dat bestaat met de variabiliteit van de natuur.

Theoretisch moet er bij de bepaling van de bandbreedte voor het kustonderhoud ook rekening worden gehouden met onzekerheden m.b.t. golfgeïnduceerd dwarstransport. Door Alkyon/WL|Delft Hydraulics [17] zijn hiervoor aparte gevoeligheidsberekeningen uitgevoerd. Daaruit blijkt dat wat de modelonzekerheden betreft er bij dwarstransport rekening moet worden gehouden met een aanzienlijke bandbreedte (factor 3). Echter, bij een korreldiameter D_{50} van 285 μm blijkt dat er in nagenoeg alle doorgerekende gevallen sprake is van landwaarts gericht dwarstransport. Een belangrijk punt is ook dat bij het betreffende grove zand de effecten door langtransporten dominant zijn t.o.v. die door dwarstransporten. Daarom is bij het bepalen de onderhoudshoeveelheid geen rekening gehouden met deze aanvoer van zand. De gespecificeerde bandbreedte voor dwarstransport wordt daarom voor deze situatie ook niet in rekening gebracht.

Het bovenstaande geldt alleen als er grof zand wordt toegepast met een korreldiameter D_{50} van 285 μm . Bij gebruik van fijner zand zal de bijdrage van dwarstransport snel groter worden en zullen zeewaarts gerichte dwarstransporten voor een toename van het zandverlies zorgen. In die gevallen wordt het belangrijk om bij het bepalen van de bandbreedte ook rekening te houden met de onzekerheden met betrekking tot het dwarstransport. Op de consequenties van het gebruik van fijner zand wordt in het volgende hoofdstuk verder ingegaan.

5.3 Resterende onzekerheden

Naast de onzekerheden waarmee bij de bepaling van de bandbreedte al expliciet rekening is gehouden blijven er ook een aantal resterende onzekerheden bestaan die wellicht in de komende fase van (voorbereiding op) het ontwerp verdere aandacht vereisen, bijvoorbeeld via (vervolg)onderzoek, metingen/monitoring, praktijkproeven, etc. De noodzaak en het moment waarop dat moet gebeuren hangt mede af van de mate van onzekerheid (risico's), financiële consequenties en de eventuele mogelijkheid om beheersmaatregelen te nemen.

Hieronder volgt een overzicht van specifieke aspecten die hier onder vallen.

Fysische aspecten

1. Effect zeespiegelstijging op kustonderhoud

In een eerder stadium is voor extra kustonderhoud door zeespiegelstijging 0,2 miljoen m^3/j aangenomen. Er wordt opgemerkt dat deze hoeveelheid gebaseerd was op een korreldiameter D_{50} van 160 μm .

Bij de huidige onderhoudshoeveelheden is er niet expliciet rekening gehouden met het effect van zeespiegelstijging. Wel is hier impliciet rekening mee gehouden door voor de langere termijn een grotere bandbreedte te verdisconteren (morfologische voorspellingen op een grotere tijdschaal brengen sowieso meer onzekerheid met zich mee).

Gezien de beperkte omvang van de correctie wordt geen aanpassingen van het kustonderhoud verwacht dat dit voldoende is.

2. Samenstelling ondergrond en aanwezigheid van slecht erodeerbare lagen

De samenstelling van de ondergrond en de aanwezigheid van slecht erodeerbare lagen heeft invloed op de ruimtelijke ontwikkeling van de ontgrondingskuil. Dit kan worden afgedekt door een goed monitoring programma. Het uitvoeren van aanvullend bodemonderzoek alleen voor dit aspect wordt niet aanbevolen.

3. Zandverlies ter plaatse van kop nieuwe Zuiderdam

De vormgeving van de kop Zuiderdam dient in een vervolgfase (DO) verder te worden geoptimaliseerd met betrekking tot de "stroomlijning" en de diepte waarop het dwarsprofiel van de zachte zeewering moet worden opgesloten door deze harde constructie (in het huidige ontwerp op NAP -5 m).

4.. Aanlegprofiel

Er dient te worden gezorgd dat de mogelijkheid bestaat dat het aanlegprofiel kan worden omgevormd tot het beoogde evenwichtsprofiel. Bij de Slufterdam is destijds zand uit de buffer in langsricting afgevoerd en daarmee was dit zand niet of slechts gedeeltelijk beschikbaar voor het laten ontstaan van het evenwichtsprofiel. Er dient dus terdege rekening te worden gehouden met 3-D effecten. Het aanlegprofiel moet goed worden gedefinieerd middels de bestekseisen en niet zoals bij Slufterdam is gebeurd.

5. Beschikbaarheid van juiste kwaliteit zand (zandwinlocatie en zandwinplan)

Modellering/schematisering

6. Bij de morfologische berekeningen is aangenomen dat de Doorsteek variant ineens wordt gebouwd. Er wordt dus geen rekening gehouden met eventuele morfologische aanpassingen tijdens de bouwfase.

7. Meerdere korreldiameters

In de schematisatie van de morfologische berekeningen zijn 2 verschillende korreldiameters (een vaste waarde per roosterpunt) onderscheiden, nl. die van het ophoogzand ($D_{50} = 285 \mu\text{m}$) en die van de oorspronkelijke zeebodem ($D_{50} = 160 \mu\text{m}$). In de modelresultaten veroorzaakt dit scherpe begrenzingen van de erosie- en aanzandingsgebieden ter plaatse van de overgang in korreldiameter. In werkelijkheid zal een veel geleidelijker verloop te zien zijn. Dit bemoeilijkt de interpretatie. Dit aspect zou in een volgende fase van het onderzoek verder moeten worden onderzocht.

8. Ontwikkeling ontgrondingskuil en de invloed op kustonderhoud

Bij de bepaling van het kustonderhoud zijn morfologische berekeningen uitgevoerd met de bodemligging in de huidige situatie. De ontgrondingskuil kan invloed hebben op het lokale golf- en stroomklimaat. Daardoor bestaat de mogelijkheid dat het kustonderhoud eveneens zal wijzigen. Ook bestaat de mogelijkheid dat de bijdrage van extreme golven zal veranderen. De verwachting is dat voor beide situaties het verschil klein is. Voor volledige zekerheid hierover kan een aanvullende morfologische berekening worden uitgevoerd met ontgrondingskuil.

Er is bij het kustonderhoud geen rekening gehouden met erosie ten gevolge van de ontwikkeling van de ontgrondingskuil omdat voor het kustonderhoud als ondergrens een diepte van NAP -8 m is aangehouden terwijl de ontgroning alleen optreedt ter hoogte van de teen van het aanlegprofiel, zeg op een diepte tussen NAP -10 m en -15 m. Het gaat volgens de berekeningen om een beperkte hoeveelheid van gemiddeld $200,000$ à $250,000 \text{ m}^3/\text{j}$ voor het totale kustvak.

Het kan echter niet worden uitgesloten dat in werkelijkheid zowel de positie als de helling van de oostflank van het ontgrondingsgebied zal afwijken van hetgeen is berekend. Er bestaat een risico dat de ontgrondingskuil in werkelijkheid hoger zal insnijden in het dwarsprofiel zodat na enkele jaren alsnog significante verliezen mogelijk zijn.

Ook bestaat de mogelijkheid dat de erosie op het diepere gedeelte van het dwarsprofiel invloed heeft op het kustonderhoud vanwege de verstelling van het onderwaterprofiel met het risico van profielaanpassingen en het 'onderuit zakken' van het profiel.

Uit het tot nu toe uitgevoerde onderzoek blijkt niet dat de ontgrondingskuil bij voorbaat tot onbeheersbare situaties leidt, maar voor meer zekerheid hierover is gedetailleerd (vervolg)onderzoek nodig.

Als beheersmaatregel is het denkbaar om een lichte steenbestorting aan te brengen ter plaatse van het onderste deel van het talud mocht in de praktijk sprake zijn dat de stabiliteit van het dwarsprofiel risico loopt door het opdringen van de ontgrondingskuil. Daarvoor is wel een monitoring campagne noodzakelijk.

Beleidskeuzen

9. Kusthandhavingsbeleid

Bij het bepalen van de onderhoudshoeveelheden voor de zachte buitencontour van de landaanwinning is hiervoor tot nu toe, op soortgelijke wijze als bij de referentieontwerpen, uitgegaan van het kustprofiel tussen NAP +1 m en NAP -8 m. Dit is een middenweg tussen het onderhoud van de gehele kustzone, inclusief het fundament (voor de veerkracht), en het onderhoud van de ondiepe kustzone (voor de noodzakelijke veiligheid).

De aangehouden diepte tot waar het kustonderhoud moet plaatsvinden is bepalend voor de omvang van het kustonderhoud. In Nederland wordt de Momentane Kustlijn (MKL) gebruikt als maat voor deze hoeveelheid zand. Kentallen hierbij zijn:

- horizontale positie van de MKL-kustlijn
- volume in de MKL-schijf, tussen duinvoet NAP+3.5m en NAP-4.8m

De uitvoering van het onderhoud van MV2 volgens het MKL-principe (tot een diepte van ca. NAP -5 m) zou leiden tot een reductie van ongeveer 40% van de onderhoudshoeveelheid. Met het instandhouden van het gehele dwarsprofiel van MV2 zou een aanzienlijke grotere onderhoudshoeveelheid zijn gemoeid (toename 100%).

Het onderhoud van het diepere gedeelte van het dwarsprofiel van MV2 kan het beste worden beschouwd in relatie tot het vigerende beleid zoals van toepassing is voor andere delen van de Nederlandse kust (instandhouding "kustfundament").

10. Spuiregime Haringvlietsluizen

Uit onderzoek is gebleken dat dit geen invloed heeft op de omvang van het kustonderhoud en voor de aanzanding in de Euro-Maasgeul is een beperkte toename.

6 Invloed ontwerpkeuzen en –parameters

6.1 Algemeen

Voor de beoordeling van de ontwerpkeuzen en –parameters die van invloed zijn op het kustonderhoud van MV2 en de aanzanding van de Euro-Maasgeul is onderscheid gemaakt tussen de horizontale lay-out (de ruimtelijke vormgevingsaspecten) en de verticale lay-out (type/eigenschappen constructieonderdelen en -materialen) van de Doorsteek variant.

6.2 Horizontale lay-out

1. Algemene vorm landaanwinning (compactheid/aanlegdiepte)

De aanleg- en onderhoudskosten kunnen worden beperkt door een zo optimaal mogelijke verhouding tussen de lengte van de buitencontour en het oppervlak van de landaanwinning te kiezen. In principe kan dat zowel van invloed zijn op het kustonderhoud als de aanzanding van Euro-Maasgeul.

Daarnaast geldt dat de aanleg in relatief ondiep water gunstig is voor de benodigde hoeveelheid materiaal waardoor de aanlegkosten beperkt kunnen worden. Bijkomend effect is dat aanleg in relatief ondiep water tot minder golfaanval leidt, waardoor de onderhoudskosten kunnen worden beperkt.

Met de vormgeving van de Doorsteek variant wordt aan de bovenstaande kwalitatieve eisen in ruim voldoende mate tegemoet gekomen.

2. Beïnvloeding getijstroming

De in zee uitstekende onderdelen van MV2 leiden tot contractie van de getijstroming. De mate waarin dat plaatsvindt wordt allereerst bepaald door de vorm van de landaanwinning. Met een compacte vorm dicht onder de bestaande kust wordt contractie van de getijstroming zoveel mogelijk beperkt. Daarnaast geldt dat elke constructieonderdeel dat uitsteekt t.o.v. de directe omgeving zal leiden tot (lokale) contractie van de stroming en het risico van loslating en neervorming van de stroming aan de achterzijde van de betreffende constructie. Dit kan ook een nadelige uitwerking hebben op de nautische toegankelijkheid. Bij de Doorsteek variant wordt de contractie met name bepaald door de westelijke knik in de zachte zeewering en het uiteinde van de nieuwe Zuiderdam.

Uit het uitgevoerde stromingsonderzoek [27] blijkt dat zowel de algemene vorm van de Doorsteekvariant, de ligging van de westelijke knik in de kustlijn in relatie tot de ligging en de oriëntatie van de Zuiderdam tot een aanvaardbaar stroombeeld leidt.

Als gevolg van de contractie zal er ter plaatse van een onbeschermd (zandige) bodem ontgronding optreden. Bij de Doorsteek variant wordt onderscheid gemaakt tussen lokale ontgronding nabij het uiteinde van de nieuwe Zuiderdam³ en grootschalige ontgronding in de vooroever direct ten noordwesten van Maasvlakte 2.

³ Naast contractie door de getijstroming spelen ook lokale golfeffecten in wisselwerking met de constructie een rol bij de optredende ontgronding.

Om de lokale ontgronding tegen te gaan en om de standzekerheid van de Zuiderdam te garanderen dient er een (lokale) bodembescherming te worden toegepast ter plaatse van de teen van de constructie. Er wordt opgemerkt dat een verdere "stroomlijning" van (het uiteinde van) de Zuiderdam een gunstige uitwerking kan hebben op de lokale ontgronding. Op dit onderdeel wordt hier niet verder ingegaan.

3. Kustlijn (gestrekt/samengesteld)

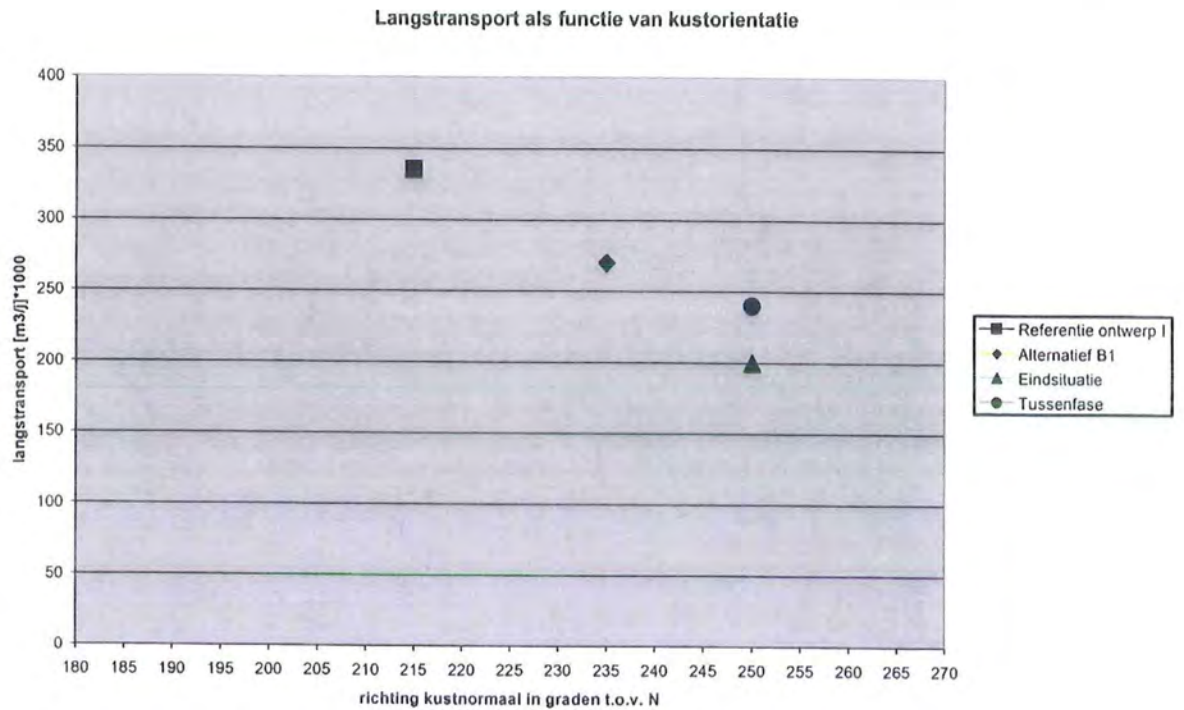
Een gestrekte doorlopende kustlijn behoudt ongeveer dezelfde kustoriëntatie langs het gehele kustvak. Een gestrekte kustlijn geeft een gelijkmatige verdeling van het zandverlies langs de betreffende kustlijn en dit heeft in principe een gunstige uitwerking op het kustonderhoud.

Een samengestelde kustlijn kenmerkt zich door twee kusten met sterk verschillende oriëntaties. Karakteristiek voor een samengestelde kustlijn is de selectieve golfafscherming die door de grote verschillen in oriëntatie langs beide kusten zullen optreden. Dit heeft tot gevolg dat het morfologisch systeem langs beide kusten sterk zal verschillen zonder veel onderlinge interacties. De erosie concentreert zich daarbij met name op de plaats van de knik in de kustlijn waardoor er sprake kan zijn van een toename van het onderhoud. Daar tegenover staat dat eventuele beheersmaatregelen van beperkte omvang (lokale schaal) toegepast kunnen worden om de erosie te beperken.

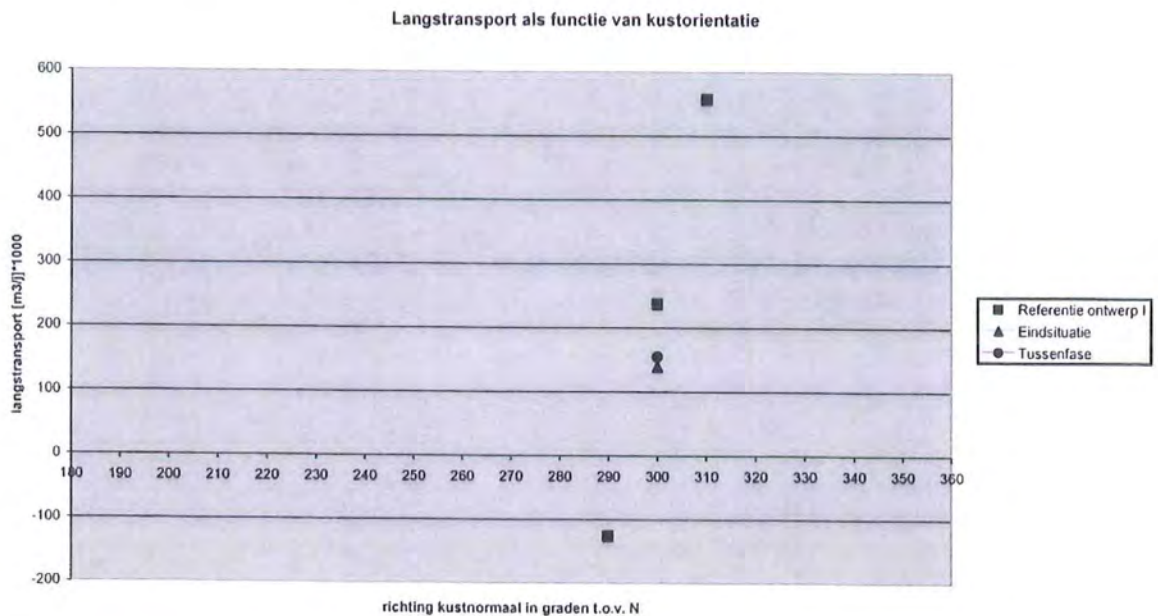
Een samengestelde kustlijn zoals bij de Doorsteekvariant lijkt in eerste instantie minder gunstig voor het kustonderhoud. Tegelijkertijd moet wel worden gesteld dat de flauwere bocht waarvan sprake is bij de Doorsteek variant (in vergelijking tot bijvoorbeeld Ref. I) wel weer een gunstige uitwerking heeft op de grootte van het kustonderhoud.

4. Kustoriëntatie

De kustoriëntatie is van belang voor de golfgedreven langstransporten. De kustoriëntatie waarbij de bruto langstransporten ongeveer in balans zijn wordt de evenwichtsoriëntatie genoemd. In principe hangt de evenwichtsoriëntatie af van de verdeling van de golfenergie over de verschillende richtingssectoren. Wanneer we alleen het golfklimaat in beschouwing nemen dan zou voor de beschouwde locatie de evenwichtsoriëntatie bij benadering ongeveer uitkomen op de oriëntatie van de Slufterkust. Er geldt "bij benadering" omdat de getijstrooming hierop van invloed is. Dit heeft te maken met de vloeddominantie van de getijstrooming en de stroomcontractie door de aanwezigheid van de landaanwinning.



Figuur 6.1a: Langtransport als functie van oriëntatie kustnormaal zuidelijke kustlijn (uitgaande van een korreldiameter D_{50} van $285 \mu\text{m}$)



Figuur 6.1b: Langtransport als functie van richting kustoriëntatie noordelijke kustlijn (uitgaande van een korreldiameter D_{50} van $285 \mu\text{m}$)

Voor het kustonderhoud van de Doorsteek variant is het belangrijk om informatie te hebben hoe het langstransport verandert bij een wijziging van de oriëntatie van de kustlijn. Op basis van eerder uitgevoerde studies wordt in figuur 6.1a en 6.1b respectievelijk voor de noordelijke (ten noorden van de knik) en zuidelijke kustlijn (ten zuiden van de knik) een indicatie gegeven van dit verloop.

Een wijziging van de kustoriëntatie van de zachte zeewering van MV2 is direct van invloed op de grootte van de optredende langstransporten en laat zich rechtstreeks doorvertalen in meer of minder kustonderhoud van MV2. Binnen de beschikbare ontwerpruimte hebben de veranderingen in kustoriëntatie echter een beperkte invloed op het kustonderhoud. Zo neemt het transport in zuidwaartse richting toe van 200.000 m³/j tot 270.000 m³/j wanneer de oriëntatie van de zuidelijke kustlijn wijzigt van 251° naar 233° (= "323° -lijn") (zie figuur 6.1a). Het totale onderhoud van de eindsituatie komt daarmee uit op ca. 0,7 miljoen m³/j in plaats van 0,6 miljoen m³/j.

Bij de noordelijke kustlijn zou volgens figuur 6.1b een kleine verdraaiing (303° → 296°) eveneens tot een verdere reductie van het kustonderhoud leiden. Wat betreft de omvang moet echter de nodige voorzichtigheid in acht worden genomen in verband met de wisselwerking met de getijstroom, de effectiviteit van de nieuwe Zuiderdam (blokkerende werking) en de invloed van de feitelijke lengte van de zachte zeewering.

5. Grootschalige ontgroning

De grootschalige ontgroning onder invloed van de contractie van de getijstrooming heeft zowel effect op het kustonderhoud als de aanzanding in de Euro-Maasgeul. Op beide aspecten wordt hieronder nader ingegaan.

A. Kustonderhoud

Dit is het geval wanneer erosie door grootschalige ontgroning dicht onder of ter plaatse van het aanlegprofiel van MV2 optreedt. Wanneer de erosie in het gebied boven NAP -8 m (het "instandhoudingsgebied") optreedt is er sprake van direct verlies. Bepalende factor hierbij is de mate van uitsteken van de westelijke knik in de kustlijn. Naarmate de westelijke knik verder in zee uitsteekt zal de ontgroning steeds hoger insnijden in het aanlegprofiel.

Ook wanneer de vooroever of het diepere gedeelte van het dwarsprofiel of alleen de teen van het aanlegprofiel (< NAP -8 m) wordt geërodeerd kan een lokale versteiling van het dwarsprofiel een (toename van) zeewaarts gericht dwarstransport veroorzaken met het risico van profielaanpassingen en het 'onderuit zakken' van het profiel. Dit indirecte verlies zal leiden tot een continu verlies van zand uit het morfologisch systeem van de kustzone. Hierdoor zal in beide gevallen de onderhoudsbehoefte kunnen toenemen.

Op basis van de uitgevoerde morfologische berekeningen voor de Doorsteek variant ([15] en [16]) is geconstateerd dat de ontgroning plaatsvindt beneden het te onderhouden deel van het kustprofiel. De erosie beperkt zich tot de teen van het aanlegprofiel, zeg op een diepte tussen NAP -10 m à -15 m. Hierdoor hoeft er bij de Doorsteek variant bij de bepaling van het kustonderhoud geen rekening te worden gehouden met direct verlies.

Met betrekking tot het risico van profielaanpassingen en het 'onderuit zakken' van het profiel zijn in [17] berekeningen uitgevoerd naar het effect van een steile vooroever op de optredende dwarstransporten. Volgens de uitgevoerde berekeningen bleken er geen dwarsverliezen op te

treden in de situatie met een ontgrondingsgebied. Uiteraard speelt hierbij het gebruik van de juiste diameter van het zand een bepalende rol.

Er bestaat wel een zeker risico dat in werkelijkheid de locatie van het ontgrondingsgebied zal afwijken van hetgeen berekend is. Om hier meer zekerheid over te kunnen krijgen is op termijn verder onderzoek noodzakelijk. Als praktische oplossing kan overwogen worden om een bodembestorting (bestaande uit een lichte sortering breuksteen) aan te brengen om ongewenste erosie te voorkomen.

Uit het uitgevoerde onderzoek blijkt in elk geval dat de ontgrondingskuil zonder bestorting niet tot een onbeheersbare situatie leidt (uitgaande van een korreldiameter D_{50} van 285 μm).

B. Aanzanding Euro-Maasgeul

De ontgrondingskuil is van grote invloed op de aanzanding in de Euro-Maasgeul omdat een groot deel van het zand dat bij de ontwikkeling vrijkomt uiteindelijk wordt afgezet in de Euro-Maasgeul. Bij de jaarlijkse hoeveelheid aanzanding en het verloop hiervan in de tijd spelen zowel de grootte als de plaats van de ontgrondingskuil (=afstand ten opzichte van de Euro-Maasgeul) een rol.

De omvang van de ontgrondingskuil kan direct worden gerelateerd aan de mate van contractie van de getijstroom en dus de mate waarin de westelijke knik van de Doorsteek variant in zee uitsteekt. Hoe minder ver de westelijke knik in zee uitsteekt des te kleiner wordt de ontgrondingskuil evenals de aanzandingshoeveelheid in de Euro-Maasgeul.

Wat betreft de locatie van de ontgrondingskuil is gebleken dat hoe groter de afstand is tot de Euro-Maasgeul (d.w.z. hoe verder de ontgraving naar het zuiden plaatsvindt), het des te langer duurt voordat het effect van de ontgraving in volle omvang merkbaar wordt op de aanzanding in de Euro-Maasgeul. Het zal hierdoor echter ook langer duren voordat de aanzanding weer geleidelijk gaat afnemen. In figuur 4.2 wordt dit principe geïllustreerd aan de hand van het verloop van de aanzanding over een periode van 50 jaar voor beide situaties van de Doorsteek variant en alternatief IA1 (=Ref I). Zoals opgemerkt in hoofdstuk 4 kunnen de optredende verschillen tussen fase 1 en de eindsituatie vrij marginaal worden genoemd.

6.3 Verticale lay-out

Bij de verticale lay-out concentreren we ons op het type en de eigenschappen van de constructieonderdelen en –materialen die voor de buitencontour van de Doorsteek variant worden toegepast. Er wordt hierbij onderscheid gemaakt tussen de harde en de zachte zeewering.

6.3.1 Zachte zeewering

Bij de zachte zeewering gaat de aandacht vooral uit naar het ontwerpprofiel en de korreldiameter van het toegepaste zand, waarbij de invloed vooral betrekking heeft op het kustonderhoud van MV2.

1. Toegepaste korrelgrootte

Er bestaat een rechtstreeks verband tussen de korrelgrootte van het aanleg- en suppletiezand en de grootte van het zandverlies. Dit heeft betrekking op het verlies in langsrichting onder invloed langtransporten, maar ook met het verlies in zeewaartse richting onder invloed van dwarstransporten.

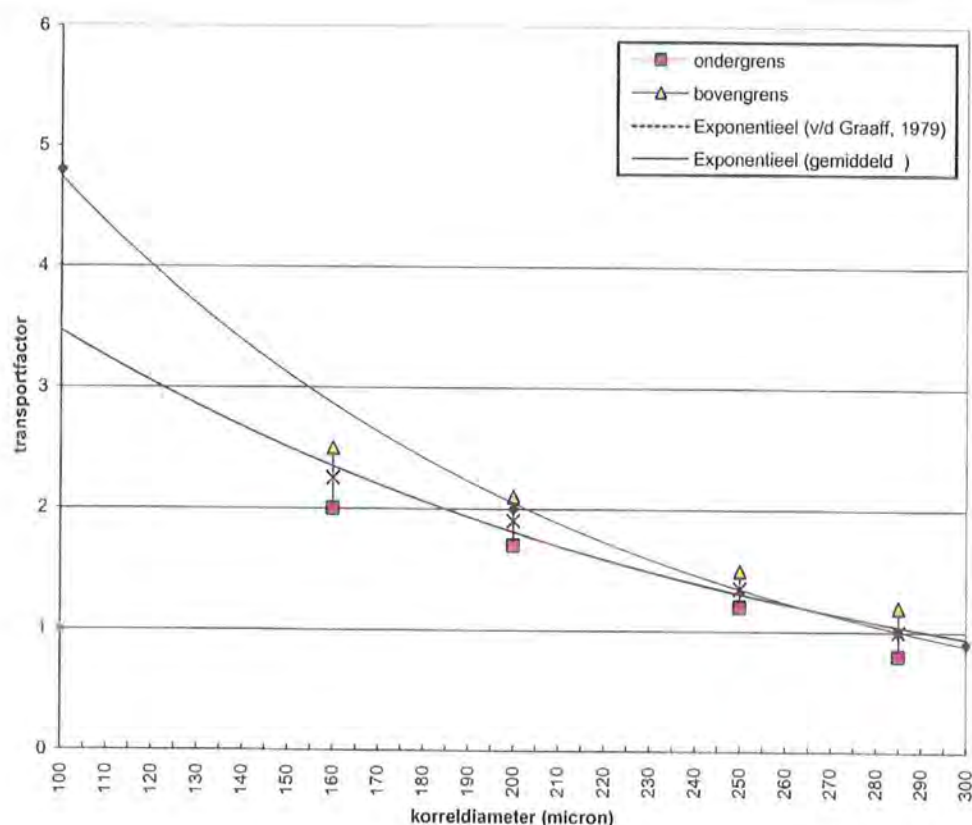
Hieronder wordt ingegaan op de beide transportmechanismen en de consequenties voor het totale kustonderhoud.

A. Langtransporten

De invloed van de korreldiameter van het toegepaste zand op de grootte van het langtransport laat zich rechtstreeks doorvertalen in meer of minder kustonderhoud (via de ruimtelijke gradiënten in het kustnabije langtransport)).

In verschillende onderzoeken die in het verleden zijn uitgevoerd is de gevoeligheid van het langtransport onderzocht voor de toegepaste korreldiameter. In figuur 6.2 worden deze uitkomsten in samengevatte vorm grafisch gepresenteerd. De berekende transporten zijn hierbij geschaald met het optredende transport bij een korreldiameter D_{50} van 285 μm . Voor de berekende factoren zijn zowel resultaten gebruikt voor de noordelijke als voor de zuidelijke kustlijn.

Wanneer zand met een gemiddelde korreldiameter D_{50} van 200 μm (in plaats van 285 μm) wordt toegepast zal het langtransport met een factor 1,7 à 2,1 toenemen. Bij zand met een gemiddelde korreldiameter D_{50} van 160 μm is deze factor zelfs 2 à 2,5. Dit beeld wordt bevestigd door de uitkomsten van een meer theoretische studie die in het verleden is uitgevoerd naar de gevoeligheid van transportformules [25].



Figuur 6.2: Gevoeligheid van de grootte van het langtransport voor de toegepaste korreldiameter (schaling transportfactor op basis van transport bij korreldiameter D_{50} van 285 μm)

B. Dwarstransporten

Eveneens is in verschillende onderzoeken die in het verleden zijn uitgevoerd de gevoeligheid van het dwarstransport onderzocht voor de toegepaste korreldiameter. De onderstaande constatering en conclusies hebben betrekking op het ontwerpprofiel zoals in hoofdstuk 2 is beschreven.

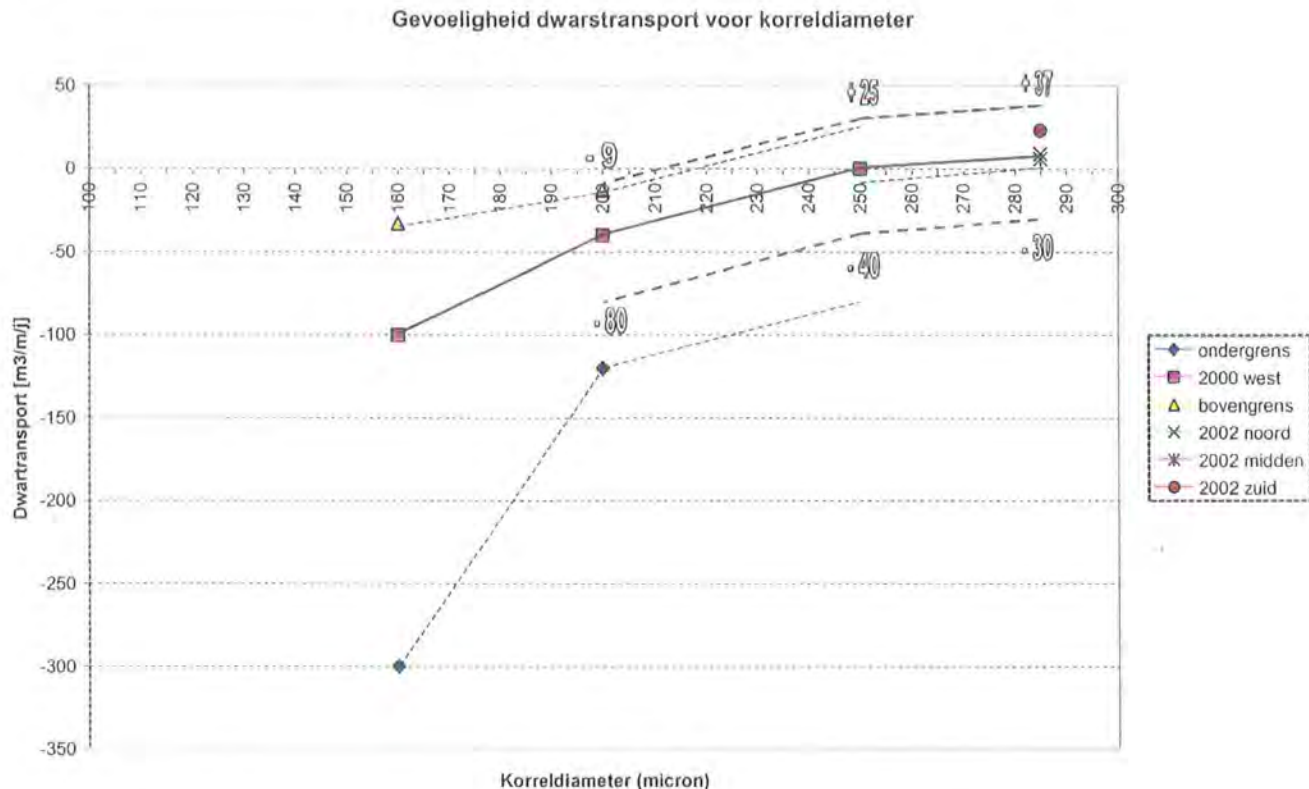
In [2000] zijn dwarstransportberekeningen gemaakt met een D_{50} van 160 μm , 200 μm en 250 μm . Daaruit blijkt een grote gevoeligheid van de berekende dwarstransporten voor de toegepaste korreldiameter. Bij een D_{50} van 160 μm zijn de berekende dwarstransporten (jaargemiddeld) ongeveer twee keer zo groot als bij een D_{50} van 200 μm . De berekeningen voor Referentieontwerp I met een D_{50} van 160 μm laten zien dat er relatief veel zeewaarts zandverlies te verwachten is langs de westkust van MV2. Langs de zuidkust is dat aanzienlijk minder. De korrelgrootte van het ophoogmateriaal is bovendien bepalend voor deze vorm van zandverlies. Met een D_{50} van 160 μm wordt een zeewaarts gericht netto dwarstransport door de NAP -8 m dieptelij berekend van 100 $\text{m}^3/\text{m}/\text{j}$. Bij een D_{50} van 200 μm neemt dat af tot 40% van deze hoeveelheid. Nog grover zand zou leiden tot vrijwel geen netto zeewaarts zandverlies door de NAP -8 m dieptelij (bij een D_{50} van 250 μm).

Hel bovenstaande beeld wordt nogmaals bevestigd in het onderzoek dat in 2002 is uitgevoerd [2002]. Voor een vergelijkbare situatie als het eerdere onderzoek in 2000 blijkt dat bij een D_{50} van 285 μm in alle profielen sprake is van een landwaarts gericht dwarstransport over de NAP

langtransport. Vanwege de onzekerheden die vandaag aan de dag nog steeds bestaan bij het simuleren van profielontwikkelingen en dwarstransportprocessen is daar echter van af gezien. Het buiten beschouwing laten van de aanvoer door dwarstransport leidt dus tot een enigszins conservatieve schatting van het onderhoud.

In figuur 6.3 worden de uitkomsten van de verschillende onderzoeken in grafische vorm gepresenteerd. De resultaten van de verschillende onderzoeken leveren een consistent beeld op.

Uitgaande van het gemiddelde verloop van het dwarstransport als functie van de korreldiameter kan worden geconcludeerd dat bij toepassing van een korreldiameter van 250 μm of meer er bij de bepaling van het kustonderhoud geen rekening hoeft te worden gehouden met zeewaartse verliezen door dwarstransport.



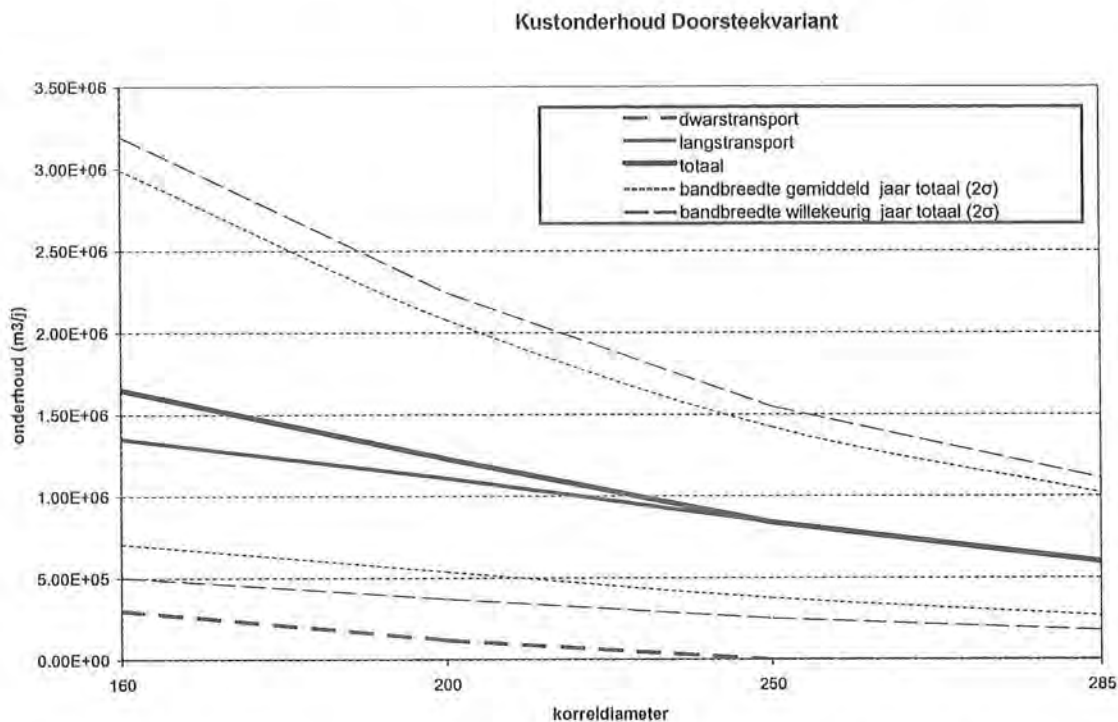
Figuur 6.3: Gevoeligheid van de grootte van het dwarstransport voor de toegepaste korreldiameter (inclusief verloop van aangepaste onder- en bovengrens).

Wel is het nodig om nog even stil te staan bij de grote bandbreedte die van toepassing is op het dwarstransport (factor 3). Hiervoor wordt eveneens naar figuur 6.3 verwezen. Omdat een bandbreedte uitgedrukt in een factor bij een bepaalde korreldiameter niet leidt tot een omslag in transportrichting is daarbij voor het traject tussen een D_{50} van 200 μm en 250 μm uitgegaan van een gemiddelde bandbreedte die in absolute zin constant blijft. Daarmee wordt bij een D_{50} van 285 μm als bovengrens (verlies) voor het dwarstransport een zeewaarts transport van $-30 \text{ m}^3/\text{m/j}$ berekend. Bij een D_{50} van 250 μm is dat $-40 \text{ m}^3/\text{m/j}$. Pas bij een D_{50} van 200 μm komt de bovengrens in de buurt van $-100 \text{ m}^3/\text{m/j}$. Dit betekent dat, uitgaande van een kustlijnlengthe van de zachte zeevering van 3 km (alleen eroderende kustvakken, d.w.z. westelijke knik en noordelijke kustvak), het zeewaartse zandverlies bij een D_{50} van 250 μm à 285 μm maximaal

ca. 0,1 miljoen m^3/j zal bedragen. Zelfs voor deze situatie die als conservatief kan worden beschouwd is dat nog aanmerkelijk minder dan de bijdragen door het langtransport.

C. Totale kustonderhoud

In figuur 6.4 wordt getoond hoe het totale kustonderhoud afhangt van de toegepaste korreldeiameter van het suppletiemateriaal inclusief de bijbehorende bandbreedte. Hierbij is uitgegaan van een gemiddeld jaar. Ook de individuele bijdragen door het langs- en dwarstransport zijn in de figuur weergegeven. Uit de figuur valt af te lezen dat het totale kustonderhoud in belangrijke mate afhangt van de korrelkarakteristieken van het te gebruiken ophoogzand. Bij korreldiameters kleiner dan $250 \mu m$ neemt het kustonderhoud aanzienlijk toe. Dit wordt zowel veroorzaakt door een gestage toename van de verliezen in langsrichting als een toenemend verlies in zeewaartse richting. De grotere bandbreedte bij kleinere korreldiameters is een indicatie voor de toenemende onzekerheden en risico's ingeval er fijn zand wordt toegepast. Het is evident dat zowel de absolute grootte van het kustonderhoud als de aanwezige onzekerheden worden beperkt als er gebruik wordt gemaakt van grof materiaal. Voor de zachte zeevering wordt daarom een D_{50} kleiner dan $250 \mu m$ ontraden.



Figuur 6.4: Gevoeligheid van het kustonderhoud voor de eindsituatie van het Doorsteek variant voor de toegepaste korreldeiameter (inclusief bandbreedte met onder- en bovengrens, gemiddeld jaar/willekeurig jaar).

Het gebruik van grof zand met een korreldeiameter D_{50} van $285 \mu m$ voor de zachte zeevering blijkt dus zeer effectief te zijn om de zandverliezen te beperken. Dat impliceert wel dat ook de toekomstige onderhoudssuppleties met dit relatief grove zand moeten worden uitgevoerd. Uit het zandwinplan voor Maasvlakte 2 blijkt dat er voldoende grof materiaal in de omgeving van Maasvlakte aanwezig is voor het kustonderhoud. Daarnaast zullen in het bestek speciale eisen moeten worden geformuleerd om ervoor te zorgen dat er alleen grof zand voor de zachte zeevering wordt toegepast.

Als extra kanttekening wordt hier ook opgemerkt dat het reducerende effect door de keuze van het grove aanlegzand vele malen groter is dan een eventuele reductie van de transporten door een betere oriëntatie van de kust.

2. Stabiliteit onderwaterprofiel

Taludhelling

De korrelgrootte heeft ook invloed op de vorm van het onderwaterprofiel en de taludhellingen die onder natuurlijke omstandigheden ontstaan. Hoe groter de korreldiameter van het aanlegzand des te steiler het onderwaterprofiel verloopt. Hoe fijner het zand des te flauwer het profiel zal zijn dat resulteert. Het zijn vooral dwarstransportprocessen onder invloed van golven die bepalend zijn voor deze profielontwikkeling.

Op basis van de constatering dat bij toepassing van een korreldiameter D_{50} van 285 μm landwaarts gerichte dwarstransporten overheersen mag worden geconcludeerd dat de taludhelling van het ontwerp-profiel aan de flauwe kant is voor deze korreldiameter. Dit klopt omdat het dwarsprofiel oorspronkelijk was gebaseerd op het toepassen van zand met een gemiddelde korreldiameter van $D_{50} = 250 \mu\text{m}$. Er zou daarom overwogen kunnen worden om voor het gedeelte tussen NAP -5 m en NAP -10 m een helling van 1:75 toe te passen in plaats van 1:100.

Er moet wel worden opgemerkt dat dit ook invloed heeft op de grote van de optredende dwarstransporten en dus op het kustonderhoud. Daardoor kan met name bij kleinere korreldiameters het zeewaartse verlies toenemen. Voor het beoogde grove materiaal zal dit echter nagenoeg geen invloed hebben op het kustonderhoud.

Afknoten profiel

Bij het huidige ontwerp-profiel is verondersteld dat op een diepte van NAP -10 m het ontwerp-profiel onder een steile helling (1:20) afloopt naar de lokaal aanwezige waterdiepte (een zgn. "afgeknot" profiel). Overwogen kan worden om bij de aanleg het afknoten op een kleinere diepte te doen. Deze optie wordt aangeduid als "uitgestelde aanleg". Eén van de risico's hierbij is dat het profiel "onderuit zal zakken" met een daaraan gerelateerde sterke toename van de netto zeewaartse zandverliezen. Op basis van de uitgevoerde berekeningen in [17] is geconcludeerd dat het principe van uitgestelde aanleg geen onoverkomelijke bezwaren oplevert onder de voorwaarde dat grof aanlegzand met een D_{50} rond de 285 μm wordt gebruikt. Het afknoten op een diepte van NAP -8 m leidt op een termijn van enkele jaren nauwelijks tot extra zandverlies. Bij een diepte van NAP -6 m bestaat hiervoor wel een zeker risico.

Bij toepassing van fijner aanlegzand wordt deze optie afgeraden in verband met het risico op toenemende zandverliezen in zeewaartse richting.

6.3.2 Harde zeewering

Wat de harde zeewering betreft zijn de volgende ontwerpkeuzen en -parameters van invloed op het kustonderhoud en/of de aanzanding in de Euro-Maasgeul:
 - vormgeving en uitvoering (kop) Zuiderdam (dit in verband met zandverlies rond de kop van de constructie en door de constructie i.v.m. zanddichtheid),

- golfreflectie (kop) Zuiderdam (in verband met lokale ontgroning door golven en stroming, invloed daarop van taludsteilheid/doorlatendheid toplaag, afmetingen bodembescherming voor het garanderen van de standzekerheid).

In een volgende fase van het project (DO) dient hier meer aandacht aan te worden besteed.

7 Beheersmaatregelen

7.1 Algemeen

In dit hoofdstuk wordt een verkenning uitgevoerd naar de technische beheersmaatregelen die eventueel denkbaar zijn voor het reduceren van het kustonderhoud en het beperken van de omvang van de ontgrondingskuil. De toepassing van dergelijke beheersmaatregelen zou met name in beeld kunnen komen wanneer in werkelijkheid mocht blijken dat de morfologische ontwikkeling zonder deze beheersmaatregelen anders verloopt (d.w.z. ongunstiger) dan de voorspellingen waar momenteel op basis van het uitgevoerde onderzoek vanuit wordt gegaan.

Deze verkenning is vooral bedoeld om te onderzoeken of en zo ja welke beheersmaatregelen in een dergelijke situatie eventueel in aanmerking komen om te worden toegepast en wat de economische haalbaarheid is. Of dergelijke maatregelen al dan niet lonend zijn hangt in eerste instantie af van het "overall" kostenplaatje, dit wil zeggen de aanleg- en onderhoudskosten die ermee zijn gemoeid versus de besparingen die kunnen worden bereikt.

Gezien de relatief grote bandbreedte die van toepassing is bij de voorspelling van de morfologische effecten wordt echter geadviseerd om de morfologische ontwikkelingen (met name m.b.t. de kusterosie en de ontwikkeling van de ontgrondingskuil) eerst gedurende een aantal jaren te monitoren en pas daarna een besluit te nemen over de noodzaak c.q. haalbaarheid van dergelijke aanvullende technische beheersmaatregelen.

Dergelijke maatregelen kunnen ook invloed hebben op de natuurlijke mariene en ecologische processen en het aanzien van de kust. Ook dit kan een rol spelen bij de uiteindelijke afweging om dergelijke constructies al dan niet toe te passen. Omdat het om een eerste verkenning gaat en de toepassing van dergelijke constructies in eerste instantie nog niet direct aan de orde is, is dit aspect echter vooralsnog buiten beschouwing gelaten.

Er wordt ook nog opgemerkt dat de afmetingen en de configuratie van de constructies gekozen zijn op basis van algemeen geldende inzichten. De aanlegkosten voor de beschouwde constructies zijn daarbij gebaseerd op ruwe schattingen zonder dat er een gedetailleerd ontwerp aan ten grondslag ligt. Een onderbouwing van de uitgevoerde kostenvergelijking, inclusief een opsomming van de toegepaste eenheidsprijzen, wordt gegeven in een aparte notitie [26].⁴

7.2 Kustonderhoud

In bijlage 2 wordt een opsomming gegeven van de verschillende mogelijkheden van kustonderhoud en de kustverdedigingsmaatregelen die denkbaar zijn, zowel hard als zacht, en de conceptuele aspecten die daarbij een rol spelen.

Het gebruik van aanvullende harde kustverdedigingmaatregelen is met name zinvol wanneer de eindsituatie van de Doorsteekvariant direct wordt aangelegd. Voor de eerste (tijdelijke) fase

⁴ Er wordt opgemerkt dat de gehanteerde bedragen in deze notitie alleen toepasbaar zijn voor de kostenvergelijking die in dit rapport is uitgevoerd. De kostenvergelijking is uitgevoerd op basis van alleen directe kosten. Er wordt daarmee beoogd om elke schijn te vermijden dat het hier zou gaan om nauwkeurige kostenschattingen die vergeleken kunnen worden met de ramingen die elders binnen PMV2 worden gemaakt.

van de Doorsteekvariant ligt de toepassing van dergelijke maatregelen minder voor de hand vanwege de relatief korte afschrijvingsperiode die van toepassing is.

Zandsuppleties

De erosie van de zachte zeewering van MV2 zal in principe met "zachte maatregelen", d.w.z. periodieke zandsuppleties, worden tegengegaan. De zandsuppleties kunnen worden uitgevoerd door het regelmatig suppleren van de kust. Een dergelijke vorm van onderhoud is in lijn met het Nederlandse kustbeleid van dynamisch handhaven van de kustlijn, zoals dat sinds het begin van de negentiger jaren voor de rest van de Nederlandse kust wordt toegepast. In de praktijk is gebleken dat deze vorm van kustonderhoud in principe als een economisch gunstige en tegelijkertijd milieuvriendelijke methode geldt.

In bijlage 2 worden verschillende opties besproken voor het uitvoeren van zandsuppleties.

De primaire doelstelling van de zandsuppleties is het handhaven van de hoeveelheid zand dat in de kustzone aanwezig is. Als maat voor deze hoeveelheid zand wordt voor de rest van de Nederlandse kust de zogenaamde Momentane Kustlijn (MKL) gebruikt. Hierbij wordt rekening gehouden met het zandvolume in de MKL-schijf, tussen duinvoet NAP +3.5m en NAP -4.8m. Voor MV2 wordt als ondergrens bij de bepaling van de erosie rekening gehouden met de NAP -8 m dieptelijn. Hierover dient nog nadere afstemming met het Rijk plaats te vinden.

De zandsuppleties kunnen worden uitgevoerd als strandsuppletie en als gecombineerde strand- en onderwatersuppletie. Voordeel van deze laatste vorm van suppleren is het ontbreken van pijpleidingen en bulldozers op het strand, dus minder overlast voor de recreatie alsmede een lagere prijs per kubieke meter gesuppleerd zand. Er is echter ook een nadeel en dat is dat bij acute problemen met de veiligheid van de zachte zeewering onderwatersuppleties geen uitkomst bieden. Verder is het rendement bij deze vorm van suppleren ook minder omdat slecht een gedeelte van de gesuppleerde hoeveelheid ten goede zal komen aan de kustzone. Voor de specifieke situatie bij de Doorsteek variant gelden daarbij nog extra onzekerheden vanwege de aanwezigheid van de ontgrondingskuil in de vooroever, waardoor een deel van het zand via de overheersende noordwaarts gerichte getijstrooming naar elders wordt getransporteerd en daarbij zeer waarschijnlijk voor extra aanzanding in de Euro-Maasgeul zal zorgen.

Uitgaande van een gemiddelde jaarlijkse hoeveelheid van 600.000 m³ kunnen de totale geïndexeerde onderhoudskosten, afhankelijk van de periode die daarbij in beschouwing wordt genomen, oplopen tot ca. 30 tot 40 miljoen €.

De uitgevoerde berekeningen geven aan dat de uitvoering van een gecombineerde strand- en onderwatersuppletie een kleine 10% duurder uitvalt dan de kosten voor een strandsuppletie alleen. Bepalend hierbij is vooral de aangehouden effectiviteit voor de onderwatersuppletie. Vanwege de specifieke situatie met de aanwezigheid van een ontgrondingskuil in de vooroever met de bijbehorende contractie van de getijstroom is een hoog rendement voor de onderwatersuppletie niet aannemelijk.

Strandhoofden

Voor de werking van een serie strandhoofden wordt verwezen naar Bijlage 2.

Door het toepassen van aanvullende harde kustverdedigingsmaatregelen zoals strandhoofden zou de onderhoudsfrequentie en de levensduur van zandsuppleties verlengd kunnen worden. Het is mogelijk dat dit resulteert in een besparing op de jaarlijkse onderhoudskosten.

Er is uitgegaan dat de strandhoofden worden aangebracht over een lengte van 2 km ter plaatse van de westelijke knik in de kustlijn en het kustvak ten noorden hiervan. Het kustvak ten zuiden van de knik blijft onbeschermd. Er is aangenomen dat de zandvoeding naar dit kustvak volledig wordt geblokkeerd door de strandhoofden. Dit betekent dat de optredende erosie ter plaatse van dit kustvak met zandsuppleties moet worden bestreden.

Voor de kostenvergelijking zijn zowel de onderlinge afstand als de diepte van de kop van de strandhoofden gevarieerd. Dit laat zich vertalen in de benodigde effectieve lengte om het langtransport te blokkeren (en zodoende resulteert in een beperking van het onderhoud).

Er zijn 2 verschillende typen strandhoofden beschouwd: korte strandhoofden met de kop op een diepte van NAP -3 m (totale lengte ca. 250 m, inclusief een inkassing van 100 m tot NAP $+1$ m) en lange strandhoofden met de kop op een diepte van NAP -5 m (totale lengte ca. 400 m, eveneens met een inkassing van 100 m tot NAP $+1$ m).

Uit de kostenvergelijking blijkt dat hoe meer strandhoofden worden toegepast (met een steeds klein wordende onderlinge afstand) des te hoger de totale kosten oplopen (d.w.z. de totale geïndexeerde onderhoudskosten en de aanlegkosten). Wat betreft de economische haalbaarheid blijkt het omslagpunt voor de korte strandhoofden te liggen bij een onderlinge afstand van ca. 250 m. Voor de lange strandhoofden bevindt het omslagpunt zich bij een grotere afstand van ca. 500 m. Deze waarden komen redelijk overeen met de praktijkervaring elders langs de Nederlandse kust.

Het toepassen van strandhoofden met een kleinere onderlinge afstand dan de hierboven genoemde waarden leidt er dus toe dat de verdediging door strandhoofden duurder uitpakt dan het kustonderhoud op basis van periodieke strandsuppleties zonder aanvullende maatregelen. De korte strandhoofden scoren relatief gezien gunstiger dan het gebruik van lange strandhoofden.

Er moet worden opgemerkt dat het aantal strandhoofden en het aangehouden percentage voor de reductie van het onderhoud van invloed is op bovenstaande uitkomsten. Op voorhand is er echter geen reden om voor de reductie uit te gaan van een ander scenario (meer pessimistisch of meer optimistisch). Voor een betere bepaling van de effectiviteit zou aanvullend morfologisch onderzoek kunnen worden uitgevoerd. Daarbij zou ook onderzocht moeten worden of de strandhoofden vanuit nautisch oogpunt een nadelige invloed hebben op het stromingspatroon nabij de haveningang.

Kustparallele golfbrekers (offshore golfbrekers)

Voor de werking van een serie kustparallele golfbrekers wordt verwezen naar Bijlage 2.

Voor de bepaling van de kosten van deze optie wordt eveneens uitgegaan van een kustlijn die over een lengte van 2 km wordt verdedigd met golfbrekers met een kruin boven de gemiddelde waterlijn (NAP $+2$ m). Voor de kustontwikkeling wordt daarbij gemikt op de vorming van zogenaamde "salients", d.w.z. de ontwikkeling van lokale aanzandingsgebieden

achter de golfbreker zonder dat deze een rechtstreekse verbinding vormen met de achterzijde van de golfbrekers (zogenaamde "tombolo's").

Voor de aanlegdiepte van de golfbrekers wordt uitgegaan van NAP -3 m en NAP -5 m (dus aan de rand van de brekerzone). De bijbehorende lengte van de golfbrekers is op basis van empirische vuistregels bepaald op respectievelijk 125 en 200 m. De onderlinge afstand tussen de golfbrekers is gelijk gehouden aan de lengte van de golfbrekers. Dit betekent dat bij een aanlegdiepte van NAP -3 m in totaal 8 golfbrekers nodig zijn; bij een aanlegdiepte van NAP -5 m zijn dat er 5. Voor de reductie van het onderhoud is weer uitgegaan van respectievelijk 40% en 60%.

Uit de kostenvergelijking blijkt dat een verdediging met kustparallele golfbrekers goedkoper is dan het kustonderhoud op basis van periodieke strandsuppleties zonder aanvullende maatregelen. De toepassing van golfbrekers op NAP -5 m is daarbij relatief gezien iets gunstiger dan een golfbreker op NAP -3 m.

Er moet echter worden opgemerkt dat voor het bepalen van de benodigde configuratie gebruik is gemaakt van empirische bepaalde vuistregels waarvan op dit moment niet duidelijk is of ze 1 op 1 op de betreffende situatie van toepassing zijn. Het is evident dat het aantal golfbrekers en het percentage dat voor de reductie van het onderhoud is aangehouden een tamelijk grote invloed heeft op de uitkomsten van de kostenvergelijking. Daarom moet men voorzichtig zijn om nu al harde conclusies af te leiden omtrent de haalbaarheid van kustparallele golfbrekers. Om dit beter te bepalen is aanvullend morfologisch onderzoek noodzakelijk. Daarbij moet ook voldoende aandacht worden geschonken aan de specifieke situatie met de aanwezigheid van een ontgrondingskuil in de vooroever en de sterke getijstroom hetgeen een zeker risico kan betekenen wat betreft de effectiviteit en de constructievrije stabiliteit ervan. Ook zou onderzocht moeten worden of dergelijke golfbrekers een nadelige invloed hebben op het stromingspatroon van de doorgaande getijstrooming.

Onderwaterberm golfbreker

Voor de werking van een onderwaterberm golfbreker wordt verwezen naar Bijlage 2.

Het uitgangspunt is een uniforme bescherming van het gehele kustvak. Bij de bepaling van de kosten voor deze optie is dus aangenomen dat de onderwaterberm golfbreker als een doorgaande constructie langs het gehele kustvak van 2 km aanwezig is. De kruin ligt op NAP -2 m. Voor de aanlegdiepte van de golfbrekers is een diepte van NAP -5 m en NAP -8 m aangehouden. Voor de reductie van het onderhoud is weer uitgegaan van respectievelijk 40% en 60%.

Uit de kostenvergelijking blijkt dat een verdediging door middel van een onderwaterberm golfbreker ongeveer even duur of zelfs iets goedkoper is als het kustonderhoud op basis van periodieke strandsuppleties zonder aanvullende maatregelen. Het is evident dat de toepassing van een golfbreker op NAP -5 m daarbij relatief gezien iets gunstiger scoort dan een golfbreker op NAP -8 m in verband met de kleinere aandiepte. Ook hierbij geldt echter dat de nodige voorzichtigheid moet worden betracht bij het afleiden van al te harde harde conclusies over de haalbaarheid van dit type verdediging. Om dit beter te kunnen bepalen is aanvullend morfologisch onderzoek noodzakelijk. Hierbij gelden min of meer dezelfde aandachtspunten als genoemd bij de voorgaande typen constructies.

Headlands

Dit zijn harde constructies van relatief beperkte omvang die zich ter hoogte van de oorspronkelijke (doorlopende) waterlijn bevinden (in de brekerzone). Deze oplossing wordt gebruikt wanneer de vorming van tombolo's wordt beoogd met als resultaat een complete blokkering van het langstransport langs de kust aan de achterzijde van de constructie. Dergelijke constructies zijn alleen bruikbaar om op lokale schaal de strandlijn tussen 2 opeenvolgende headlands te stabiliseren. Dergelijke constructies zullen niet voorkomen dat er erosie optreedt ter plaatse van het diepere gedeelte van de brandingszone.. Voor de Doorsteekvariant worden deze constructies daarom buiten beschouwing gelaten.

Hard bolwerk

Dit betreft een volledig harde zeewering ter plaatse van westelijke knik in de kustlijn waarmee de erosie ter plekke volledig wordt beteugeld. Dit is een vergelijkbare maatregel als die men in een eerder stadium bij het Referentieontwerp I in gedachten had. De uitvoering van een hard bolwerk ligt bij de Doorsteekvariant minder voor de hand omdat er sprake is van een veel flauwere bocht bij de westelijke knik in vergelijking met het Referentieontwerp I. Voor de situatie van de Doorsteekvariant is zowel de intensiteit als de totale omvang van de erosie veel kleiner. Op grond hiervan bestaat er op dit moment geen noodzaak om het harde bolwerk voor de Doorsteekvariant in beschouwing te nemen.

7.3 Ontwikkeling ontgrondingskuil

Steenbestorting vooroever

Met het aanbrengen van een steenbestorting op de vooroever ter hoogte van de westelijke knik van de Doorsteekvariant kan de ontwikkeling van de ontgrondingskuil worden beperkt. Nut en noodzaak hiervoor zou om uiteenlopende redenen aanwezig kunnen zijn, bv.:

- nautische eisen i.v.m. optredende stromingstoestand en de ongunstige invloed die de ontgrondingskuil hierop heeft,
- invloed van de ontgrondingskuil op het kustonderhoud, hetzij indirect (via aangepast golf- en stroomklimaat) of direct (via het in kustwaartse richting verplaatsen van de ontgrondingskuil),
- vanuit optiek van gefaseerde aanleg om te voorkomen dat de ontgrondingskuil die tijdens fase 1 zal ontstaan weer moet worden opgevuld om te zijner tijd de buitencontour van de eindsituatie aan te kunnen leggen,
- vanuit natuurcompensatie vanwege de randvoorwaarden m.b.t. de ontwikkeling van gebieden met "diepe" zeebodem (NAP -10 tot -20 m) of nog dieper.

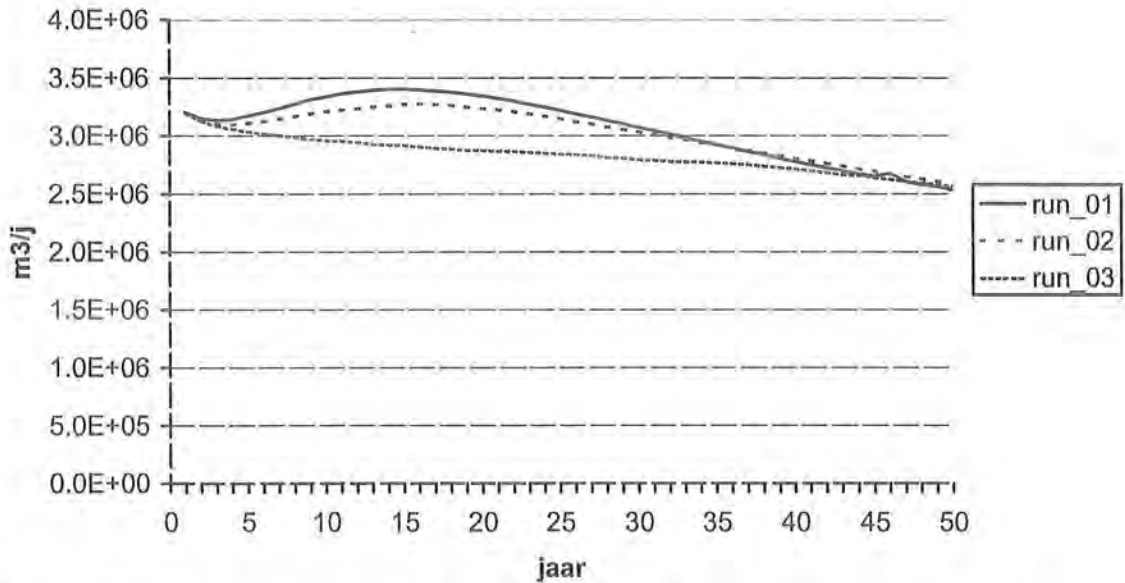
Een aantal van de genoemde aspecten is momenteel onderwerp van nader onderzoek.

Een bijkomend effect van de aangebrachte bodemverdediging bestaat uit een reductie van de aanzanding in de Euro-Maasgeul. In [16] zijn verkennende berekeningen uitgevoerd met 2 verschillende afmetingen voor de bodemverdediging. In de berekeningen is steeds uitgegaan van een bodemverdediging ter plaatse van de bestaande zeebodem, zeewaarts van het aanlegprofiel, ter hoogte van de westelijke knik in de kustlijn. Uit de berekeningen blijkt dat met een bodemverdediging van voldoende afmetingen de ontwikkeling van de ontgrondingskuil en de aanzanding in de Euro-Maasgeul wezenlijk kan worden beïnvloed.

In figuur 7.1 wordt het verloop van de aanzanding in de Euro-Maasgeul voor de volgende situaties weergegeven:

1. zonder bodemverdediging
2. met bodemverdediging 500 m x 2000 m, vanaf t=0 jr
3. met bodemverdediging 1500 m x 2000 m, vanaf t=0 jr

Aanzanding Euro-Maasgeul



Figuur 7.1: Verloop aanzanding Euro-Maasgeul (periode 50 jaar, zonder (run_01) en met bodemverdediging (run_02 en run_03)).

De aanlegkosten van de bodemverdediging zijn vergeleken met de totale besparingen op het onderhoudsbaggerwerk in de Euro-Maasgeul. Op basis hiervan is geconcludeerd dat het economisch niet rendabel is om op basis van alleen de besparingen op de baggerkosten in de Euro-Maasgeul te besluiten om een dergelijke bodemverdediging aan te brengen.

Het lijkt wel haalbaar om een vooroever bestorting van beperktere omvang toe te passen wanneer in werkelijkheid mocht blijken dat de ontgrondingskuil de neiging heeft om verder in landwaartse richting op te schuiven dan tot nu toe op basis van de uitkomsten van de morfologische berekeningen is voorzien.

7.4 Voorlopige conclusie

Harde kustverdedigingsmaatregelen

Wat betreft de toepassing van harde kustverdedigingsmaatregelen zijn de volgende constructies vanuit conceptueel oogpunt toepasbaar:

- strandhoofden
- kustparallele golfbrekers
- onderwaterberm golfbreker

De verkenning van de economische haalbaarheid van dergelijke kustverdedigingsmaatregelen laat een verschillende beeld zien. De keuze m.b.t. de gekozen configuratie en de aangenomen effectiviteit spelen hierbij een bepalende rol. Op basis van de huidige inzichten kan op dit

moment niet met volledige zekerheid een keuze worden gemaakt tussen de verschillende maatregelen. Gezien de specifieke situatie spelen hierbij ook een aantal onzekerheden m.b.t. de fysische effecten. De toepassing van dergelijke beheersmaatregelen lijkt daarom pas zinvol wanneer in werkelijkheid mocht blijken dat de morfologische ontwikkeling zonder beheersmaatregelen ongunstiger verloop dan de huidige voorspellingen aangeven. Daarom wordt geadviseerd om de morfologische ontwikkelingen (met name m.b.t. kusterosie en ontgrondingskuil) eerst gedurende een aantal jaren te monitoren en pas daarna een besluit te nemen over de noodzaak c.q. haalbaarheid van dergelijke aanvullende technische beheersmaatregelen.

Bodembescherming vooroever

Bij de bodembescherming van de vooroever is het economisch gezien niet rendabel om op basis van alleen de besparingen op de baggerkosten in de Euro-Maasgeul een bodemverdediging aan te brengen.

8 Dwarsverband natuurcompensatie

8.1 Beperking ruimtebeslag Doorsteekvariant:

Om het ruimtebeslag van de Doorsteekvariant te beperken kan worden overwogen om het ontwerpprofiel tussen NAP – 5 m en NAP –10 m op te zetten onder een steilere helling van 1:75 in plaats van 1:100. Daarmee kan bespaard worden op de initiële aanlegkosten. Volgens de uitgevoerde berekeningen heeft dat geen noemenswaardige consequenties voor de stabiliteit van het dwarsprofiel zolang er maar voor het zand wordt uitgegaan van een gemiddelde korreldiameter van 285 μm .

Deze aanpassing resulteert in een landwaartse verplaatsing van de teen van het dwarsprofiel met 125 m. Uitgaande van een lengte van 7 km voor de kustlijn betekent dit een reductie van het bruto ruimtebeslag met ruim 80 ha. Dit komt in mindering op het oppervlak "diepe zeebodem" bij de bepaling van het direct verlies aan zeenatuur. Dat is ca. 5% van het ruimtebeslag voor de eindsituatie van de Doorsteekvariant. De hoeveelheid van 80 ha komt echter ook in mindering op de hoeveelheid nieuwe ondiepe zeebodem die wordt aangelegd. Per saldo heeft deze aanpassing dus geen consequenties voor de uitgangspunten die gebruikt worden voor de bepaling van de betreffende natuureffecten.

Een min of meer vergelijkbaar resultaat is te realiseren als het ontwerpprofiel niet op NAP –10 m wordt afgeknot maar op NAP –8 m.

8.2 Invloed zandsuppleties op verondieping Haringvlietmond

De periodieke zandsuppleties kunnen leiden tot een verlies aan areaal ondiepten en geulen in de Haringvlietmond. Dit wordt bepaald door het zandverlies in zuidwaartse richting naar het gebied van de Haringvlietmond.

In [15] is voor de eindsituatie van de Doorsteekvariant een waarde van 200.000 m^3/j voor het transport in zuidwaartse richting afgeleid. Deze waarde is ongeveer vergelijkbaar met het verlies in zuidwaartse richting in de huidige situatie bij de Slufterdam. In [17] is daarvoor een gemiddelde hoeveelheid van 250.000 m^3/j afgeleid. In het kader van de PKB-MER compensatie/mitigatie opgave is een criterium van 200.000 m^3/j aangehouden.

De vraag hierbij is hoe er moet worden omgegaan met de onzekerheden/bandbreedte die aanwezig is in de morfologische berekeningen. Voor de onzekerheden m.b.t. het kustonderhoud van de landaanwinning bleek voor een willekeurig jaar een bandbreedte te bestaan van ca. $\pm 70\%$. Voor een gemiddeld jaar was dat iets kleiner, nl. $\pm 55\%$. Ook in de huidige situatie is er sprake van grote jaarlijkse verschillen in het optredende langtransport als gevolg van verschillen in het optredende golfklimaat. Uit berekeningen [11] blijkt dat de variatie in het bruto jaarlijkse transport wel kan oplopen tot 25% à 40% van de gemiddelde waarde. Dit is vergelijkbaar met de bandbreedte die in [17] is gevonden voor de variatie door natuurlijke omstandigheden.

De verondieping van de Haringvlietmond is een ontwikkeling die zich afspeelt op een termijn van vele jaren. Daarom dient bij de bepaling van de effecten te worden uitgegaan van de bandbreedte die geldig is voor een gemiddeld jaar (en niet een willekeurig jaar).

Voor de eindsituatie van de Doorsteekvariant bedraagt het maximale transport in zuidwaartse richting, uitgaande van een gemiddeld jaar, ca. 310.000 m³/j (= 1,55*200.000 m³/j). Wanneer wordt uitgegaan van het criterium van 200.000 m³/j betekent dit dat het zandtransport naar de Haringvlietmond zal toenemen ten opzichte van de autonome ontwikkeling met maximaal 110.000 m³/j. Dat is 14% van de toename in het zandtransport van 800.000 m³/j zoals is aangehouden bij de referentieontwerpen. Op basis hiervan dient het maximale effect op de natuur in de Haringvlietmond te worden bepaald.

Voor fase 1 van de Doorsteekvariant geldt een vergelijkbaar effect.

8.3 Ontwikkeling ontgrondingskuil

Bij de realisatie van MV2 speelt de ontgrondingskuil ook een rol bij de bepaling van de opgave voor de natuurcompensatie in het kader van de PKB/MER procedure. Vanwege het gegeven dat de ontwikkeling deels zal plaats vinden binnen het Voordelta gebied is in [28] aangenomen dat het oppervlak gedeeltelijk moet worden meegerekend bij de bepaling van het ruimtebeslag, en dus gecompenseerd dient te worden in het zeereservaat.⁵

Deze paragraaf is bedoeld als voorzet voor de bepaling van de consequenties voor de opgave voor natuurcompensatie. Als eerste stap is het daarbij belangrijk om inzichtelijk te maken welke aspecten zoal een rol spelen bij de ontwikkeling van een ontgrondingskuil, b.v.: plaats van ontwikkeling, tijdschaal, omvang erosie, maximale ontgrondingsdiepte, bandbreedte, enz.

8.3.1 Ontwikkeling ontgrondingskuil

In figuur 8.1a en 8.1b wordt voor de eindsituatie van de Doorsteekvariant de initiële bodemligging op $t = 0$ en de berekende bodemligging op $t = 50$ jaar weergegeven (volgens DELFT3D-RAM model).

Figuur 8.2 geeft het bijbehorende verloop van de maximale ontgrondingsdiepte als functie van de tijd (t.o.v. de oorspronkelijke bodemligging). Ter vergelijking is hierin ook het verloop voor Referentieontwerp I gegeven. Na 5 jaar is de maximale ontgrondingsdiepte, zowel bij de Doorsteekvariant als het Referentieontwerp, ca. 5 m (t.o.v. de oorspronkelijke bodemligging). Na 50 jaar is de maximale ontgrondingsdiepte bij de Doorsteekvariant 22 m ten opzichte van de oorspronkelijke bodemligging van NAP -18 m; bij het Referentieontwerp is dat ruim 19 m ten opzichte van de oorspronkelijke bodemligging van NAP -16 m.

Figuur 8.3 geeft nogmaals het verloop van de maximale ontgrondingsdiepte als functie van de tijd, maar nu dimensieloos gemaakt met de oorspronkelijke bodemhoogte (y_{\max}/h_0). In deze figuur is te zien dat het verloop van de ontgrondingsdiepte voor beide varianten nagenoeg gelijk is. Na 50 jaar heeft (y_{\max}/h_0) een waarde van circa 1,2. Deze waarde komt redelijk overeen met beschikbare waarnemingen en ontwerpregels voor min of meer vergelijkbare situaties (zie inzet: ontwerpregels strominggedomineerde ontgroning).

⁵ Ongeacht de vraag of een ontgrondingskuil al dan niet tot schade zal leiden aan het bodemleven.

Ontwerpregels strominggedomineerde ontgroning

In [29] en [30] is een inventarisatie uitgevoerd van beschikbare ontwerpregels toepasbaar bij de bepaling van ontgroning voor verschillende omstandigheden, inclusief strominggedomineerde ontgroning als gevolg van contractie van de langstreckende stroming veroorzaakt door een obstakel.

kribben in rivieren

Voor de maximale ontgrondingsdiepte bij kribben in rivieren worden in [30] de volgende relaties gegeven:

- lange krib ($L > 10h_0$): $y_{\max}/h_0 = 3$
- korte krib ($L = 1 \text{ à } 3h_0$): $y_{\max}/h_0 = 0,5 \text{ tot } 1,5$

Bovenstaande vergelijkingen gelden voor situaties waarbij de optredende ongestoorde stroomsnelheid groter is dan de kritieke snelheid voor begin van beweging. Er is geen rekening gehouden met afpleistering zoals bij grof materiaal kan optreden. Hierdoor wordt het ontgrondingsproces vertraagd en de maximale ontgrondingsdiepte gereduceerd. Verder heeft de vorm van de krib ook invloed op de ontgroning. De ontgroning is maximaal bij een verticale wand (rechthoekige doorsnede). Bij een krib van stortsteen (trapeziumvormige doorsnede) kan een reductie van de maximale ontgrondingsdiepte optreden van ongeveer 30%.

(haven)dammen in kustomgeving

Voor vergelijkbare situaties in de kustomgeving ligt het voor de hand om eerst te kijken naar de de ontgroning bij de havendammen bij IJmuiden en bij de Eierlandse dam op Texel

Voor de kop van de havendammen van IJmuiden bevindt zich een grote ontgrondingskuil. De maximale ontgrondingsdiepte ter plaatse van de kop van de havendam is ongeveer 15 m beneden de oorspronkelijke zeebodem van NAP -15 m. Als vuistregel geldt dus dat de maximale ontgrondingsdiepte gelijk is aan de oorspronkelijke waterdiepte ter plaatse van de teen van de havendam:

$y_{\max}/h_0 = 1$ voor de originele waterdiepte van 15 m.

Bij de Eierlandse dam op Texel werd ongeveer 9 maanden na gereed komen van de dam een maximale ontgrondingsdiepte van 13 m waargenomen beneden de oorspronkelijke zeebodem van NAP -4 m. Hiermee komt de verhouding van de maximale ontgrondingsdiepte en de originele waterdiepte ter plaatse van de teen op:

$y_{\max}/h_0 = 3$ voor de originele waterdiepte van 4 m

Op basis van de verschillende cases die in [30] zijn beschouwd kunnen de volgende relaties als globale vuistregels worden aangehouden:

| | |
|-----------------------------------|------------------------------------------|
| $y_{\max}/h_0 = 2 \text{ à } 4$ | voor $h_0 < 4 \text{ m}$ |
| $y_{\max}/h_0 = 1 \text{ à } 2$ | voor $h_0 = 4 \text{ tot } 10 \text{ m}$ |
| $y_{\max}/h_0 = 0,5 \text{ à } 1$ | voor $h_0 > 10 \text{ m}$ |

In figuur 8.4 wordt voor de Doorsteekvariant nogmaals het verloop van de maximale ontgrondingsdiepte als functie van de tijd gegeven (uitgezet t.o.v. de oorspronkelijke bodemligging). Ter vergelijking wordt hierin ook het verloop gegeven volgens een empirische vergelijking voor tijdsafhankelijke ontgroning (= Breusers formule). Deze is in de jaren '70 afgeleid aan de hand van systematisch onderzoek uitgevoerd in het kader van de Deltawerken en is nadien diverse malen verfijnd om de formule in de ontwerp praktijk te kunnen toepassen (zie [29] en [30]).

De overeenkomst tussen beide modellen is redelijk tot goed. Alleen voor de eerste 10 jaar wordt door de Breusersformule in vergelijking met DELFT-3D RAM een aanmerkelijk grotere ontgrondingsdiepte voorspeld. Een mogelijke verklaring hiervoor kan zijn dat de ontgrondingsformule van Breusers uitgaat van zogenaamde "clear water scour". Dit is een situatie waarbij de optredende ongestoorde stroomsnelheid beneden de kritieke snelheid voor begin van beweging ligt. Hierbij treedt dus geen bovenstroomse aanvoer van sediment op. Praktijkervaring bij de Stormvloedkering Oosterschelde [32] wijst uit dat een bovenstroomse sedimentaanvoer door het getij een sterk dempend effect heeft op de ontgrondingscapaciteit en dus van invloed is op de tijdschaal waarop de ontwikkeling van een ontgrondingskuil zal plaatsvinden. Het model DELFT3D-RAM houdt hiermee impliciet wel rekening omdat de bodemontwikkeling bepaald wordt op basis van de lokale sedimenttransportcapaciteit in combinatie met de continuïteitsvergelijking.

8.3.2 Geërodeerde oppervlakte met diepte beneden NAP -20 m

In Figuur 8.5a en 8.5b wordt, respectievelijk voor de eindsituatie en fase 1 van de Doorsteekvariant, de omvang van het gebied weergegeven dat in een periode van 50 jaar zal verdiepen tot een diepte onder NAP -20 m. Dit erosiegebied is weergegeven door middel van de NAP -20 m dieptelijn op het tijdstip $t=0$ en $t=50$ jaar (conform de uitgevoerde morfologische berekeningen). Bij fase 1 (figuur 8.5b) heeft dat zowel betrekking op de situatie zonder als met bodemverdediging (afmetingen 1500 m x 2000 m).

De oppervlakte van het gebied omsloten door de NAP -20 m dieptelijn op $t=0$ en $t=50$ j is als volgt:

- Eindsituatie 1280 ha
- Fase 1, zonder bodemverdediging 1080 ha
- Fase 1, met bodemverdediging 940 ha (waarvan 390 ha aan weerszijden van de bodembescherming en 550 ha meer zeewaarts gelegen)

Bij de referentievariant bedraagt dit oppervlak na 50 jaar ca. 1450 ha.

Hieruit kan worden geconcludeerd dat bij de Referentievariant na 50 jaar de omvang van dit erosiegebied significant groter uitvalt in vergelijking met de Doorsteekvariant. Het gebied is ca. 20% groter in vergelijking met de eindsituatie en ca. 35% groter in vergelijking met fase 1 van de Doorsteekvariant. Deze verschillen kunnen verklaard worden door de verdere uitbouw in zee waarvan sprake is bij de Referentievariant (vooral de westelijke knik in de zeewering). Een soortgelijke verklaring kan worden gegeven bij de onderlinge verschillen tussen fase 1 en de eindsituatie van de Doorsteekvariant.

Op basis van figuur 8.5 kan ook worden geconstateerd dat de gebieden waar de ontgrondingskuilen in de eindsituatie en fase 1 ontstaan een grote overlap vertonen. Dit betekent dat voor de compensatieopgave de omvang van de beide ontgrondingskuilen niet afzonderlijk in rekening moet worden gebracht.

8.3.3 Verloop in de tijd

In figuur 8.6 wordt zowel voor de eindsituatie als de tussenfase van de Doorsteekvariant het verloop in de tijd weergegeven van de oppervlakte van het erosiegebied beneden een diepte van NAP –20 m. Als referentie wordt hierbij ook hetzelfde verloop voor Referentieontwerp I gegeven, alsmede voor een eerdere variant Bg die hier sterk op lijkt (Bg alleen op $t = 50$ jaar).

We hadden eerder al gezien dat het verloop van de ontwikkeling van de ontgrondingskuil in de tijd voor de onderzochte varianten ongeveer gelijk is. Echter, de locatie waar de ontgrondingskuil ontstaat is wel van belang voor het moment waarop de erosie de diepte van NAP –20 m passeert. Bij de Doorsteekvariant ontstaat de erosiekuil meer noordelijker op dieper water ter plaatse van de westelijke knik in de kustlijn (bodempligging in de initiële situatie is ongeveer ca. NAP –18 m). Bij de Referentievariant ontstaat de ontgrondingskuil meer zuidelijker op ondieper water (bodempligging in de initiële situatie is ongeveer ca. NAP –16 m en zelfs ondieper) en breidt zich daarna langzaam in een noordelijke richting uit. Bij de Referentievariant zal het daardoor langer duren voordat de momentane bodem ter plaatse van de ontgrondingskuil geërodeerd is tot het niveau van NAP –20 m. Voor de optredende verschillen tussen fase 1 en de eindsituatie van de Doorsteekvariant geldt een soortgelijke verklaring.

Oppervlakte ontgrondingsgebied na 5 jaar

Na 5 jaar bedraagt de oppervlakte van het erosiegebied met een diepte $> \text{NAP } -20 \text{ m}$ (zonder erosiebeschermende maatregelen) volgens de DELFT3D-RAM berekeningen voor de Doorsteekvariant ca. 100 tot 200 ha (afhankelijk van de locatie van de knik in de kustlijn en de fasering van de buitencontour).

8.3.4 Bandbreedte

Bij de bepaling van de bandbreedte voor de oppervlakte van het gebied beneden een diepte van NAP-20 m is gebruik gemaakt van de ontgrondingsformule volgens Breusers. Voor het bepalen van de bandbreedte is uitgegaan van de onder- en bovengrens voor de maximale ontgrondingsdiepte overeenkomstig de volgende vergelijking (zie ook inzet: Ontwerpregels strominggedomineerde ontgroning):

- ondergrens: $y_{\max}/h_0 = 0,5$
- bovengrens: $y_{\max}/h_0 = 1,5$

In figuur 8.7 is op basis van bovenstaande vergelijking het verloop in de tijd uitgezet van de maximale ontgrondingsdiepte (onder- en bovengrens). Ter vergelijking is ook het gemiddelde verloop aangegeven, inclusief de berekende waarde volgens DELFT3D-RAM.

In figuur 8.8 wordt het bijbehorende verloop in de tijd (voor de eerste 20 jaar) weergegeven van de oppervlakte van het erosiegebied beneden NAP –20 m. Als referentie wordt hierbij ook het gemiddelde verloop gegeven, inclusief de berekende waarden volgens DELFT3D-RAM.

Rekening houdend met de gespecificeerde bandbreedte bedraagt de maximale oppervlakte (bovengrens) van het erosiegebied na 5 jaar ca. 450 ha. Gezien de praktijkervaring met ontgronding voor soortgelijke situaties en rekening houdend met de betreffende situatie van bovenstroomse sedimentaanvoer wordt verondersteld dat de gespecificeerde bovengrens een conservatieve waarde voorstelt.

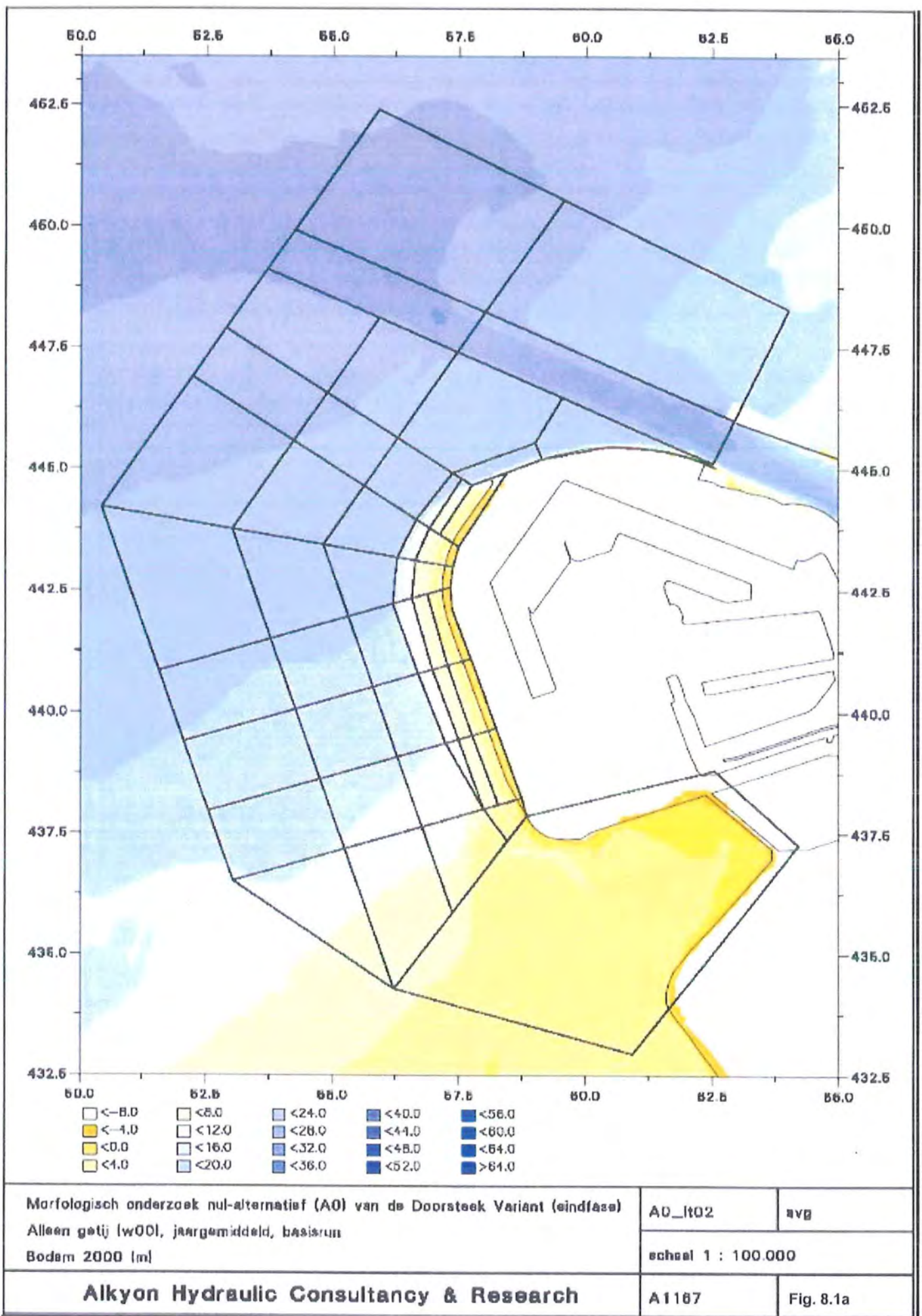
Voor fase 1 van de Doorsteekvariant geldt een vergelijkbare bandbreedte.

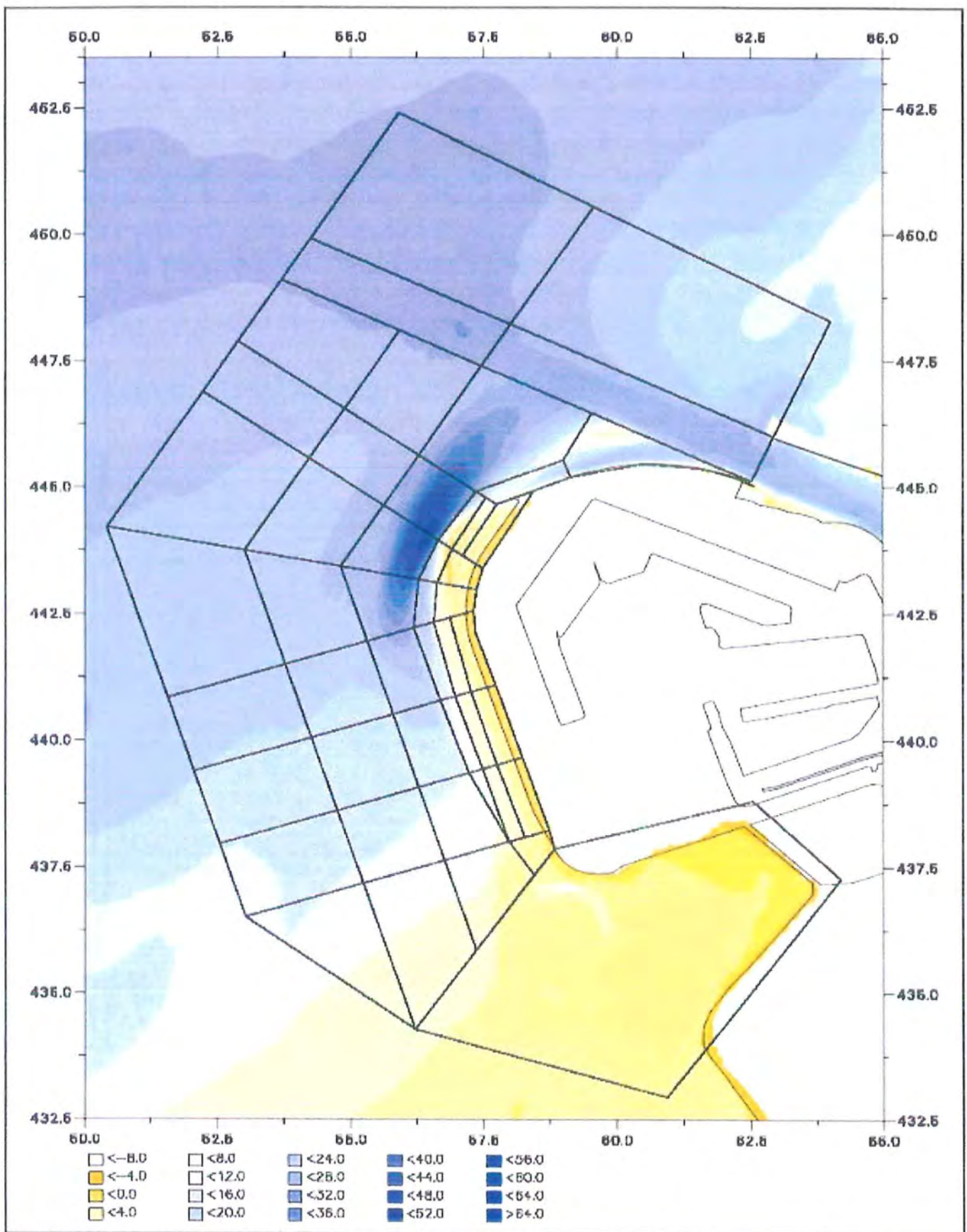
8.3.5 Opmerking

De ontwikkeling van de ontgrondingskuil is een lange termijn proces en biedt de mogelijkheid voor tussentijdse bijsturing van de consequenties voor de natuurcompensatie op basis van monitoring.

Zoals uit de betreffende figuren kan worden opgemerkt is bij de ontwikkeling van de ontgrondingskuil een termijn van tientallen jaren gemoeid. Dit betekent dat er mogelijkheden bestaan om de werkelijke ontwikkeling van de ontgrondingskuil op basis van monitoring te volgen (omvang en kenmerken zoals aanzethellingen en maximale erosiediepte). Nagegaan dient te worden welke mogelijkheden dit biedt voor:

- beperking van de erosiediepte
- monitoring schade aan het bodemleven en bijsturing van de consequenties voor natuurcompensatie.

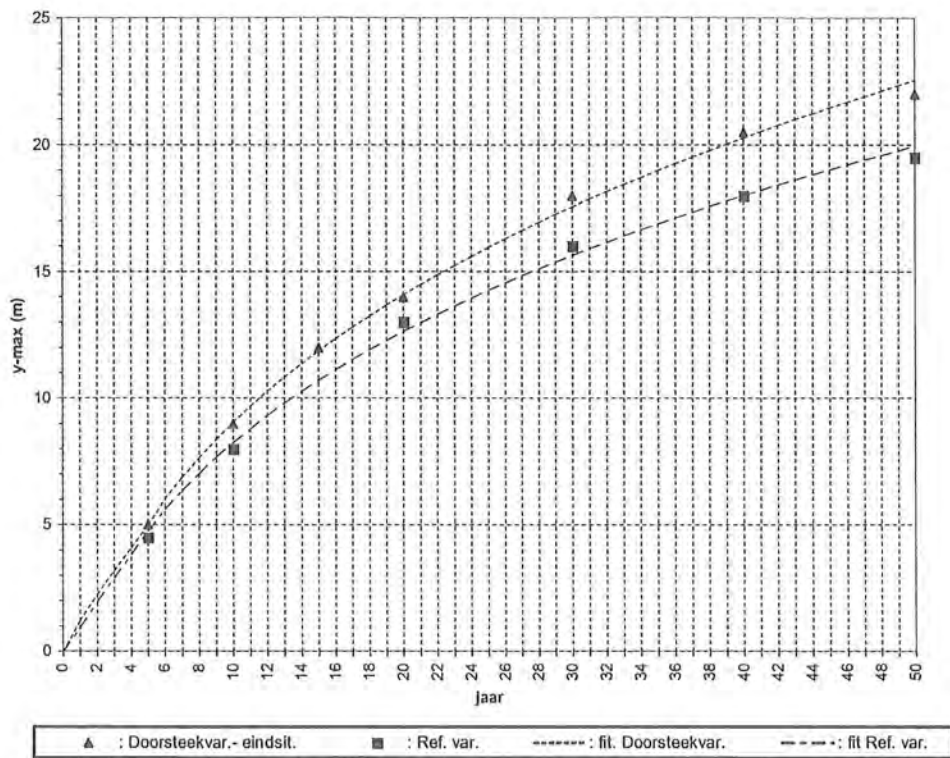




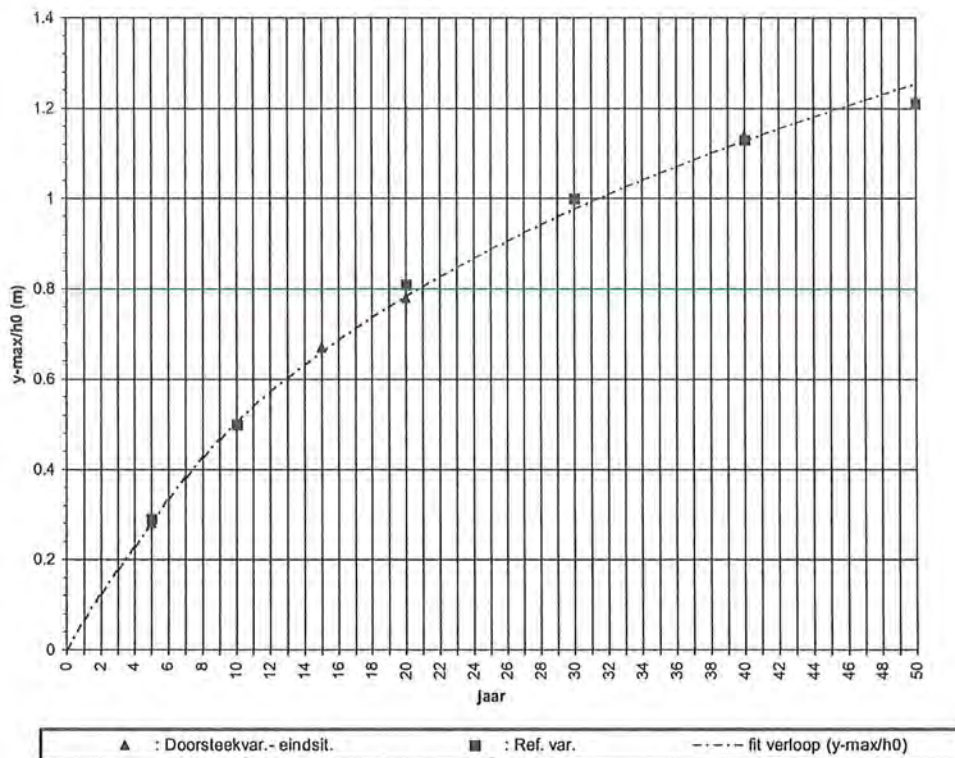
Morfologisch onderzoek nul-alternatief (A0) van de Doorsteek Variant (windfase)
 Alleen getij (w00), jaargemiddeld, basisrun
 Bodem 2060 [m]

| | |
|--------------------|-----------|
| A0_H02 | avg |
| schaal 1 : 100.000 | |
| A1167 | Fig. 8.1b |

Alkyon Hydraulic Consultancy & Research

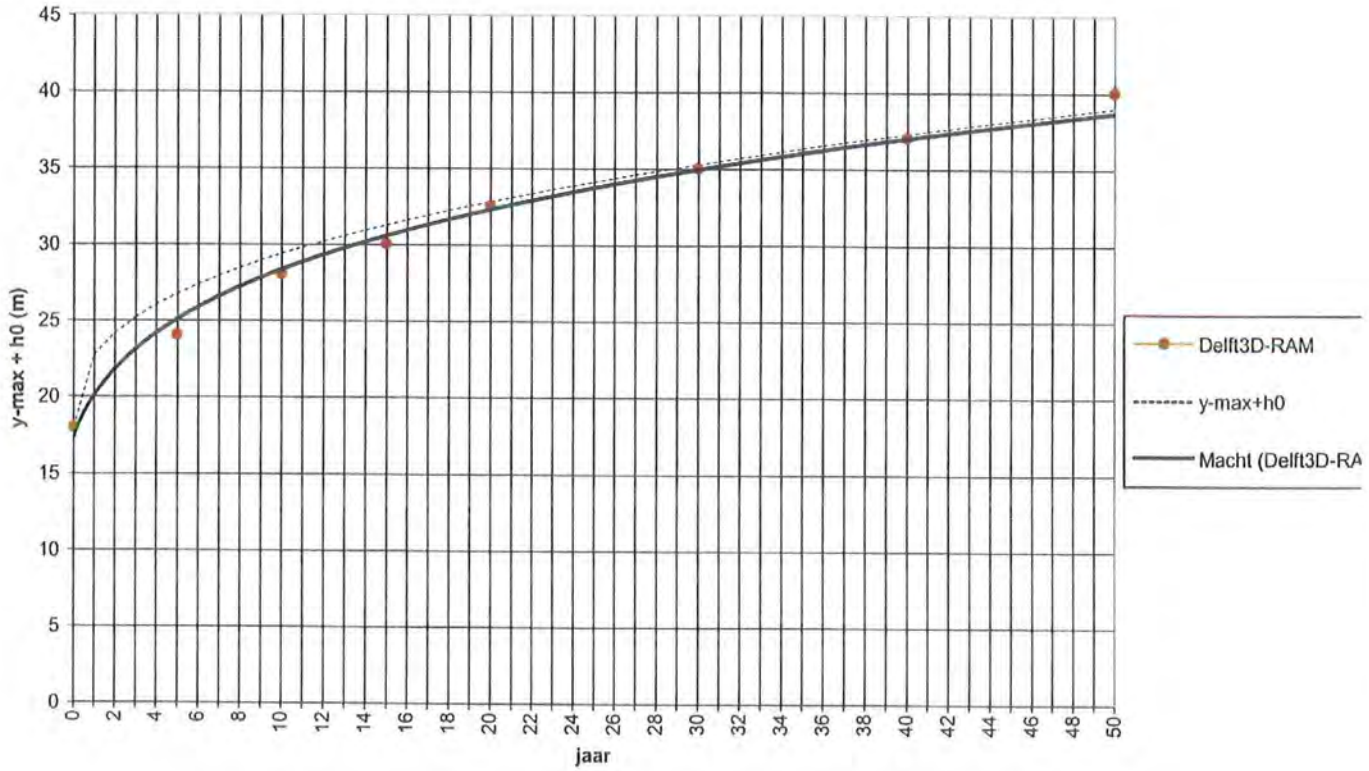


Figuur 8.2: Verloop maximale ontgrondingsdiepte y_{max} (t.o.v. oorspronkelijke bodemligging), Doorsteekalternatief en Referentieontwerp.

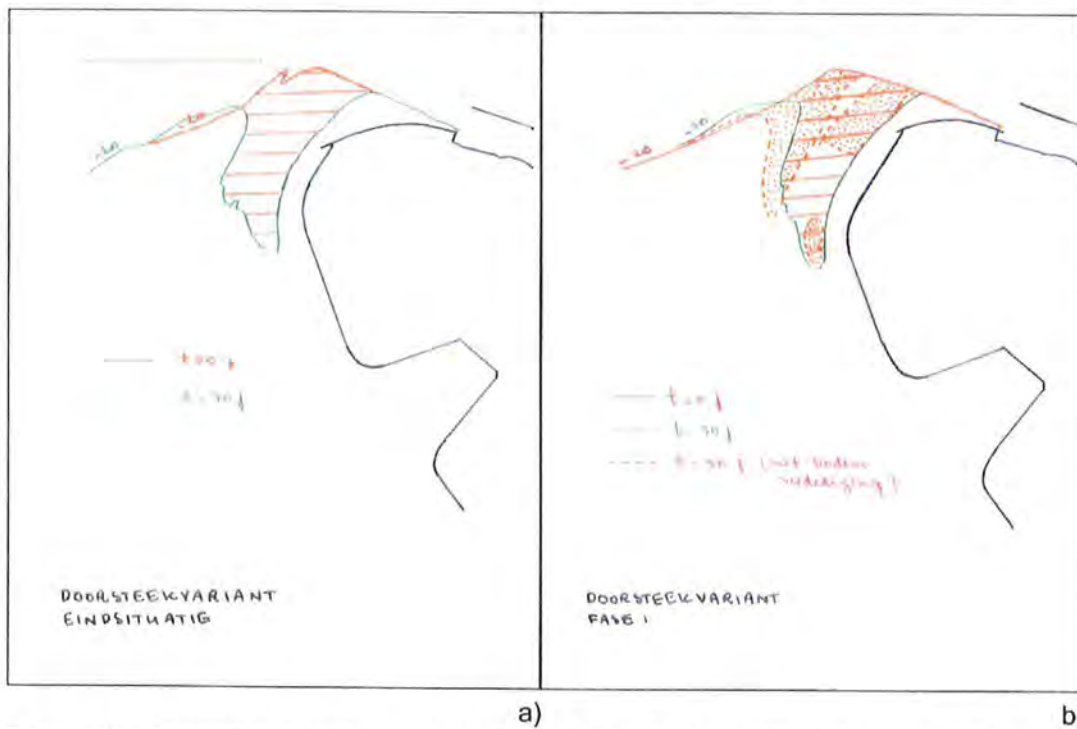


Figuur 8.3: Verloop functie y_{max}/h_0 (Doorsteekalternatief en Referentieontwerp).

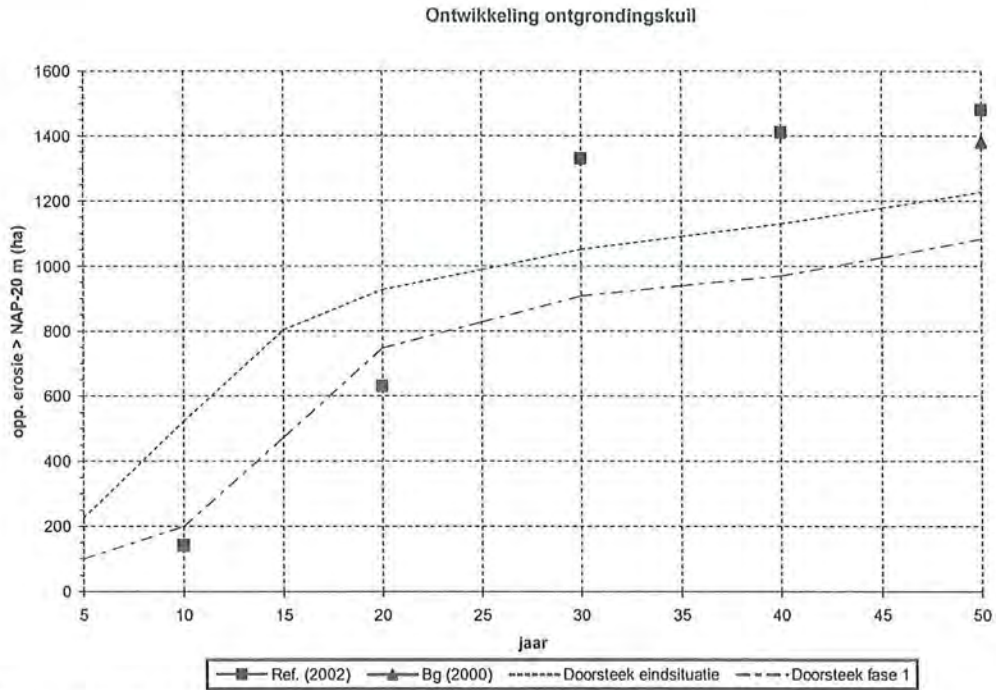
Doorsteekvariant - eindsituatie: verloop ontgronding



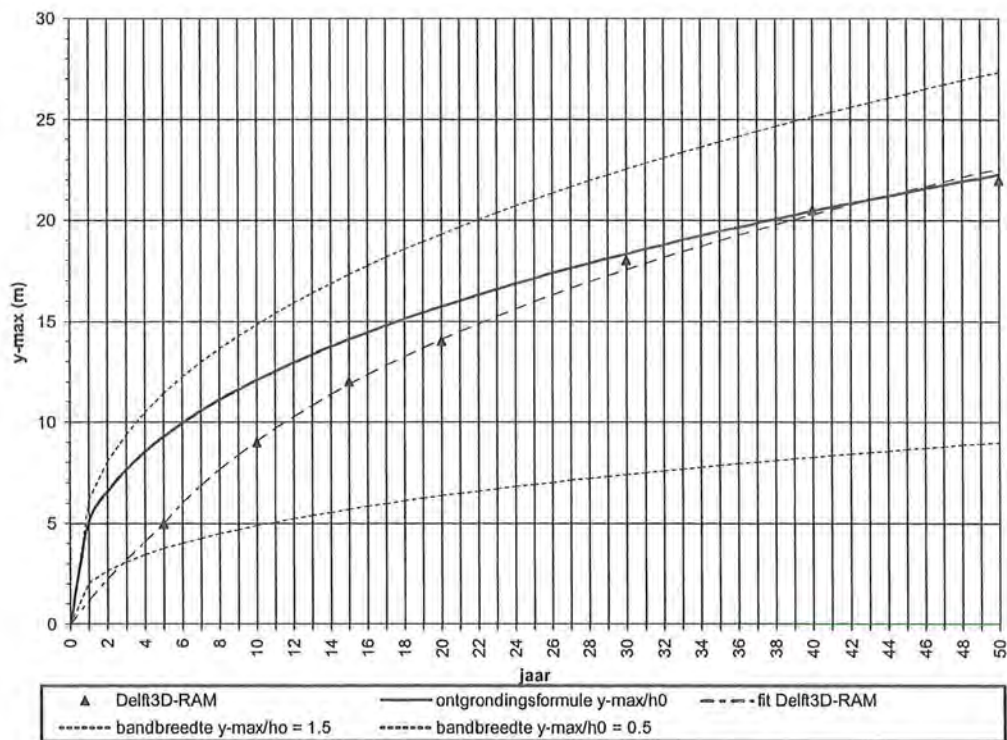
Figuur 8.4: Doorsteekvariant (eindsituatie): verloop in de tijd van de ontgrondingsdiepte ($y_{max} + h_0$) volgens DELFT3D-RAM berekeningen en ontgrondingsformule.



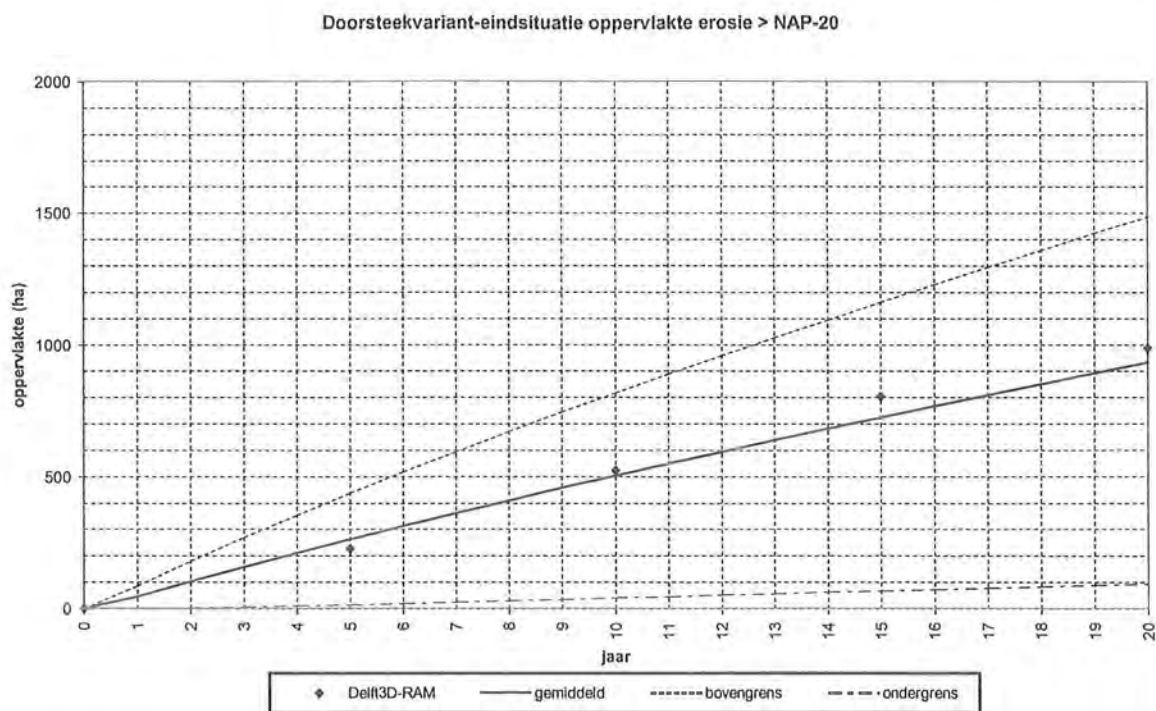
Figuur 8.5: Doorsteekvariant, omvang ontgrondingsgebied met diepte beneden NAP -20 m (a: eindsituatie, b: fase 1)



Figuur 8.6: Ontwikkeling oppervlakte gebied met diepte $h > \text{NAP} -20 \text{ m}$



Figuur 8.7: Doorsteekvariant (eindsituatie): tijdsafhankelijk verloop maximale ontgrondingsdiepte inclusief aangenomen bandbreedte (onder- en bovengrens).



Figuur 8.8: Doorsteekvariant (eindsituatie): tijdsafhankelijk verloop oppervlakte erosiegebied beneden een diepte van NAP -20 m inclusief aangenomen bandbreedte (onder- en bovengrens)

9 Conclusies en aanbevelingen

9.1 Op hoofdlijnen

Op basis van de resultaten van het uitgevoerde onderzoek worden op hoofdlijnen de volgende conclusies getrokken, inclusief enkele (afgeleide) aanbevelingen met betrekking tot eventuele beleidskeuzen voor het vervolgtraject.

Met betrekking tot de hoeveelheid onderhoud

1. Het kustonderhoud bij de Doorsteekvariant bedraagt, uitgaande van een korreldiameter van het zand $D_{50} = 285 \mu\text{m}$, voor de eindsituatie ca. 0,6 miljoen m^3 per jaar, en voor de tussenfase (fase 1 buitencontour) ca 0,5 miljoen m^3 per jaar. Rondom deze hoeveelheden zit een spreiding van ca 70 % voor een willekeurig jaar en 55% voor een gemiddeld jaar.
2. Het onderhoud (baggeren) in de Euro-Maasgeul neemt door de Landaanwinning aanmerkelijk toe. Mogelijk kunnen de kosten worden beperkt door het gebaggerde zand te gebruiken voor de binnencontour van MV2 (zandpannenkoek).

Met betrekking tot de invloed van de ontwerpparameters

3. De belangrijkste ontwerpparameter is de diameter van het toe te passen zand voor de zachte zeewering. De vorm van de buitencontour (tracé) en het dwarsprofiel hebben hierop binnen de vigerende bandbreedtes geen significante invloed. Om deze reden wordt nader onderzoek verricht naar de korreldiameter van het beschikbare zand in het zoekgebied.
4. De te maken ontwerpkeuzes moeten gemaakt worden door HbR op basis van de MER landaanwinning en zandwinning, zodat de ontwerpvrijheid voor de aannemer minimaal is.

Met betrekking tot de taakverdeling HbR - aannemer

5. In de aanbestedingsstrategie wordt overwogen om gedurende de ontwikkeling van MV2 (fase 1 en eindfase buitencontour) het onderhoud aan de zeewering mee te geven aan de aannemer vanwege:
 - de mogelijkheid om extra garanties voor de kwaliteit van de uitvoering af te dwingen
 - het kustonderhoud moet plaatsvinden met hetzelfde zand als toegepast in de zachte zeewering (korreldiameter van $285 \mu\text{m}$)

Met betrekking tot de taakverdeling Rijk – HbR

6. Vanwege de sterke verwevenheid tussen de aanleg- en onderhoudsfase is het wenselijk om de uitvoeringstaak en het bijbehorende budget voor het onderhoud van de huidige en de nieuwe kust Maasvlakte gedurende de ontwikkeling van MV2 over te dragen van het Rijk aan Rotterdam. Onder welke condities moet nader worden bepaald.

Na de ontwikkelingsperiode van de Landaanwinning wordt voorgesteld de taak voor het onderhoud van de kust terug te geven aan het Rijk.

9.2 Kustonderhoud

9.2.1 Bestaande situatie

Voor de bestaande situatie gaat de aandacht uit naar het zeegebied dat begrensd wordt door de Euro-Maasgeul, de bestaande Maasvlakte en het Slufterdepot. De morfologische ontwikkelingen in dit gebied zijn o.a. gebruikt voor de validatie van de toegepaste morfologische modellen.

De structurele erosie van de huidige Slufterkust in de periode 1990 –1999 bedraagt 770.000 m³/jaar. Het grootste deel hiervan, ca. 550.000 m³/jaar, wordt in noordwaartse richting langs de Slufterkust afgevoerd. Daarnaast treedt er een blijvend zandverlies op van ca. 270.000 m³/jaar in zuidwaartse richting naar het gebied van de Haringvlietmond. Er blijken relatief grote jaarlijkse variaties (circa 40 %) op te treden in de optredende langstransporten onder invloed van variaties in het golfklimaat (golfhoogte en richting). Belangrijk hierbij is de korreldiameter van het gesuppleerde zand. Als uitgegaan zou worden van dezelfde korreldiameter van 285 µm die toegepast gaat worden voor de aanleg van MV2, dan zou het onderhoud in de huidige situatie uitkomen op ca. 0,4 miljoen m³/jaar.

9.2.2 Doorsteekvariant

Het globale transportbeeld kan worden getypeerd door:

- een groot noordwaarts getij-gedreven zandtransport ter plaatse van de vooroever, ten westen van MV2 ter hoogte van de knik in de kustlijn,
- een relatief gering getij-gedreven transport voor de zuidwestkust van MV2 (buiten de teenlijn van het opgespoten kustprofiel,
- een noordwaarts gericht golf-geïnduceerd brandingstransport langs de noordwestkust van MV2 (ter hoogte van de knik en ten noorden hiervan), en
- een zuidwaarts gericht brandingstransport langs de zuidwestkust van MV2

Langs de zachte zeewering treedt met name erosie op ter hoogte van de westelijke knik in de kustlijn. De zandverliezen in dit kustvak worden veroorzaakt door zandtransporten ten gevolge van de brandingsstroming, maar ook de (contractie van de) getijstroming levert een bijdrage. Ook in het aangrenzende meer noordelijk gelegen kustvak treedt erosie op. Het meer zuidelijke gelegen kustvak is stabiel. Op de vooroever, aan de westzijde van MV2, ontwikkelt zich een grootschalig ontgrondingsgebied als gevolg van de contractie van de getijstroming. Dit veroorzaakt een toename van de aanzanding in de Euro-Maasgeul.

Voor het bepalen van de zandverliezen en het kustonderhoud van MV2 is verondersteld dat alleen de eroderende kustvakken door middel van suppleties worden onderhouden (met zand van buiten het kuststelsel). Eventueel aanzandende kustvakken blijven daarbij buiten beschouwing. In lengterichting wordt de hele zachte zeewering beschouwd; in dwarsrichting wordt als ondergrens de NAP –8 m dieptelijn aangehouden (het deel wat van belang is voor de standzekerheid en veiligheid van de zachte zeewering)

Het totale kustonderhoud voor de verschillende situaties wordt aldus, uitgaande van een korreldiameter D₅₀ van 285 µm:

- Doorsteekalternatief, eindsituatie 0,6 miljoen m³/jaar

| | |
|-----------------------------------------------------------------|----------------------------------|
| - Doorsteekalternatie, fase 1 buitencontour | 0,5 miljoen m ³ /jaar |
| - Referentieontwerp I (1a1) | 0,9 miljoen m ³ /jaar |
| - Huidige situatie (omgerekend naar D ₅₀ van 285 µm) | 0,4 miljoen m ³ /jaar |

9.2.3 Invloed ontwerpvariabelen

Horizontaal ontwerp (tracé buitencontour)

De invloed van de bandbreedtes in het horizontaal ontwerp (tracé zachte zeewering), zijn binnen de vigerende bandbreedtes van het Doorsteekalternatief (zuidwestkust binnen 323° l.o.v. N) verwaarloosbaar. Opgemerkt wordt dat er tijdens de (bouw)faseringen geen ongewenste stroombeelden mogen ontstaan, maar dergelijke stroombeelden zijn ook voor de scheepvaart ongewenst.

Het meest bepalend voor het kustonderhoud blijkt de korreldiameter van het zand te zijn. In figuur 6.4 wordt voor de eindsituatie van de Doorsteekvariant het totale kustonderhoud als functie van de toegepaste korreldiameter weergegeven, inclusief de bijbehorende bandbreedte (gemiddeld jaar/willekeurig jaar). Hieruit blijkt dat het gebruik van grof zand met een korreldiameter D₅₀ van 285 µm voor de zachte zeewering buitengewoon effectief is om het kustonderhoud te beperken.

Verticaal ontwerp

taludhelling

De korrelgrootte heeft ook invloed op de vorm van het onderwaterprofiel en de taludhellingen die onder natuurlijke omstandigheden ontstaan. Hoe groter de korreldiameter van het aanlegzand des te steiler het onderwaterprofiel verloopt. Op basis van een korreldiameter van 285 µm wordt een taludhelling van 1:100 aanbevolen voor het gedeelte tussen NAP –5 m en NAP –10 m. Eventueel kan overwogen worden om hier een helling van 1:75 toe te passen.

Afknotten profiel

Bij het huidig ontwerpprofiel is verondersteld dat op een diepte van NAP – 10 m het ontwerpprofiel onder een steile helling van 1:20 afloopt naar de lokaal aanwezige waterdiepte (een zgn. afgeknot profiel). Overwogen kan worden om bij aanleg het afknotten op een kleinere diepte te doen. Op basis van berekeningen kan worden geconcludeerd dat bij toepassing van zand met een diameter van 285 µm, afknotting op een diepte van NAP – 8 m mogelijk is, zonder dat dit op termijn van enkele jaren leidt tot extra zandverlies.

9.2.4 Maatregelen kustonderhoud

In principe wordt de erosie van de zachte zeewering van MV2 met zachte maatregelen, d.w.z. periodiek zandsuppleties, tegengegaan. De zandsuppleties kunnen worden uitgevoerd door het regelmatig suppleren van de kust. Dit kan in principe in de vorm van een strandsuppletie of een combinatie van strand- en onderwatersuppletie. Op basis van de uitgevoerde verkenning kon echter niet worden aangetoond dat een gecombineerde strand- en onderwatersuppletie economisch voordeel heeft.

Wat betreft de toepassing van aanvullende harde kustverdedigingsmaatregelen kunnen uit conceptueel oogpunt in principe strandhoofden, kustparallele golfbrekers en eventueel een onderwaterberm golfbreker worden toegepast.

Volgens de huidige inzichten kan op dit moment bij gebruik van zand met een D_{50} van 285 μm niet met absolute zekerheid gezegd worden of dergelijke aanvullende kustverdedigingsmaatregelen wel of niet economisch haalbaar zijn. Hiervoor dient nader onderzoek te worden uitgevoerd. Geadviseerd wordt om de morfologische ontwikkelingen eerst gedurende een aantal jaren te monitoren en pas daarna een besluit te nemen over de noodzaak c.q. haalbaarheid van dergelijke aanvullende technische maatregelen.

9.2.5 Ontwerpruimte voor de aannemers

De keuzes die gemaakt moeten worden spelen zich af op het niveau Rijk – HbR, op basis van MER Landaanwinning en Zandwinning. Het betreft de keuzes voor:

- de toe te passen korreldiameter van het zand,
- het tracé van de buitencontour,
- het ontwerp (dwars)profiel van de zachte zeewering, mede vanwege aspecten betreffende mitigatie en recreatie.

Deze parameters bepalen de mate van kusterosie en daarmee het onderhoud aan de MV2 kust. De ontwerpruimte die voor de aannemers overblijft voor wat betreft de eindsituatie is minimaal. De ruimte voor de aannemers zit met name in het logistieke proces tijdens de ontwikkeling van MV2.

Wel kan worden overwogen om gedurende de ontwikkeling van MV2 het onderhoud aan de zeewering mee te geven aan de aannemer vanwege:

- de lange ontwikkelingstijd van MV2, zeker in geval van fasering van de buitencontour (10 tot 15 jaar),
- extra garanties die kunnen afgedwongen voor de juiste uitvoering,
- de specifieke eis dat het kustonderhoud moet plaatsvinden met hetzelfde zand als is toegepast bij de aanleg van de zachte zeewering (met korreldiameter D_{50} van 285 μm).

Als hiervoor gekozen wordt, is het wenselijk dat de uitvoeringstaak voor het onderhoud gedurende de ontwikkeling van MV2 wordt overgedragen van het Rijk aan Rotterdam.

9.3 Onderhoud Euro-Maasgeul

9.3.1 Bestaande situatie

In de huidige situatie bedraagt de gemiddelde jaarlijkse baggerhoeveelheid in de eerste 5 kilometer van de Euro-Maasgeul ca. 1.7 miljoen m^3 / jaar (berekend voor de periode 1985-1995).

9.3.2 Doorsteek variant

Bij de Doorsteekvariant zal er ten opzichte van de huidige situatie een toename van de aanzanding in de Euro-Maasgeul optreden. Het belangrijkste mechanisme dat hierbij een rol

speelt is de ontwikkeling van de grootschalige ontgrondingskuil in het zeegebied ten westen van de landaanwinning. De bijdrage van het zandverlies van de zachte zeewering van MV2 is hieraan ondergeschikt. Ten opzichte van de bestaande situatie zal niet alleen de hoeveelheid aanzanding toenemen, maar de aanzanding zal zich ook over een groter gedeelte van de Euro-Maasgeul uitstrekken.

Het verloop van de aanzanding in de Euro-Maasgeul over een periode van 50 jaar is voor de verschillende situaties weergegeven in figuur 4.2. Ter vergelijking is in deze figuur ook de aanzanding voor het alternatief Ia1 (= Referentie ontwerp I) weergegeven.

9.3.3 Invloed ontwerpvariabelen

Het verloop van de aanzanding in de Euro-Maasgeul is afhankelijk van de locatie, en de omvang van de ontgrondingskuil. Dit laatste is weer afhankelijk van de optredende contractie van de getijstrooming. Dit wordt bepaald door het in zee uitsteken van de buitencontour (bepalend daarbij is de westelijke knik in de kustlijn). Het verloop in de tijd van de aanzanding wordt ook bepaald door de plaats van de ontgrondingskuil t.o.v. de Euro-Maasgeul (i.v.m. naijlingseffecten).

9.3.4 Erosiebeschermende maatregelen.

De ontwikkeling van de erosiekuil (bij de knik in de kustlijn) kan worden beperkt door het toepassen van erosie beschermende lichte bestortingslaag. Redenen hiervoor kunnen zijn:

- in geval van fasering buitencontour voorkomen dat er op twee verschillende plaatsen erosiekuilen ontstaan
- voorkomen dat de erosiekuil de standzekerheid van de zachte zeewering bedreigt
- voorkomen van eventuele negatieve effecten kuil op het stroombeeld
- beperken aanzanding Euro-Maasgeul

De bestortingslaag kan achteraf worden aangebracht, als de ongewenste effecten zich voordoen.

Voor een significante vermindering van de aanzanding in de Euro-Maasgeul moet echter een dusdanig groot gebied worden beschermd dat dit economisch niet rendabel is.

9.3.5 Ontwerpruimte voor de aannemer

De afspraken en keuzes die gemaakt moeten worden t.a.v. het onderhoudsbaggerwerk spelen zich af op het niveau Rijk – HbR, op basis van MER landaanwinning en zandwinning, en is er geen resterende ontwerpruimte voor de aannemer. Een optimalisatie mogelijkheid zit er in het gebruik van het gebaggerde zand voor de zandpannenkoek van de Landaanwinning. De ruimte voor de aannemers zit in het logistieke proces tijdens de ontwikkeling van MV2, met daarbij als beperking dat de extra aanzanding in de Euro-Maasgeul tijdens de aanleg niet mag leiden tot stremming van de geulvaart.

9.4 Onzekerheden.

Naast de onzekerheden waarmee bij de bepaling van de bandbreedte al expliciet rekening is gehouden blijven een aantal residuele onzekerheden bestaan die tijdens de verdere uitwerking

van het ontwerp en eventueel in het kader van de afspraken met het Rijk opgepakt dienen te worden, bijvoorbeeld via (vervolg)onderzoek, metingen/monitoring, praktijkproeven.

Enkele voorbeelden hiervan zijn:

- ontwikkeling ontgrondingskuil en de invloed op het kustonderhoud (nauwkeurigheid morfologisch model),
- samenstelling ondergrond en aanwezigheid van slecht erodeerbare lagen (invloed op de ruimtelijke ontwikkeling ontgrondingskuil),
- zandverlies ter plaatse van de (kop van de) nieuwe Zuiderdam (zanddichtheid en vormgeving en diepte kop Zuiderdam),
- kusthandhavingsbeleid: tot NAP –8 m (omvang kustonderhoud),
- mogelijkheden combinatie harde en zachte kustverdedingsmaatregelen,
- eis voor compensatie van ontgrondingskuil

Literatuur

1. Grootschalige locatie voor de berging van baggerspecie uit het benedenrivierengebied, Alternatief III, Optimalisering, veiligheid en stabiliteit, november 1985.
2. Loof de, A.P., 1991, Verandering in de bodemsamenstelling in de mond van het Haringvliet en rond de Slufter over de evaluatieperiode 1986 t/m 1990, Notitie GWWS-91.192, Werkgroep Evaluatie Slufter, RWS-DGW, 12 november 1991.
3. Holland, van G., Evaluatie 'Slufter' 1986-2001, Bodemligging en bodemsamenstelling, Alkyon, A835, mei 2002.
4. Ruimte voor de Kust, Bijlage Landaanwinning en Kustverdediging, Kustlocatie Den Haag/Hoek van Holland, Kuipers Compagnons i.s.m. DHV en Coopers & Lybrand, november 1995.
5. EC-PMR, Ontwerprapport Terrein, Zeewering en Havendammen, AAN-02-330, 2002.
6. Grootschalige locatie voor de berging van baggerspecie uit het benedenrivierengebied, Projectnota/MER, 1985.
7. Werkgroeprapport, 1985.
8. Boer, S., Morfologisch onderzoek GLBB, optimalisering en onderhoudsbepaling alternatief III, 1986.
9. Werkgroep Evaluatie Slufter, 1997, Evaluatie milieueffectrapportage 'Slufter' over de periode 1986 tot en met 1996, RWS-RIKZ/GW-Rotterdam, juni 1997.
10. Van Heuvel, Tj. en L.A. Uit den Bogaard, Beheer en onderhoud Slufterdam-strand 1990-1999, RIKZ/AB-99.129x, augustus 1999.
11. Steijn, R.C. Morfologisch onderzoek Maasvlakte 2, Onderhoud zachte zeewering, grootschalige ontgroning en aanzanding Maasgeul, Alkyon / WL Delft Hydraulics, EC-PMR, juni 2000.
12. Boer, S., Analyse morfologische ontwikkelingen Slufterdam, WL-rapport H1498, april 1992.
13. Bruens, A en L. Walburg, Evaluatie suppleties Slufterdamstrand, Werkdocument RIKZ/OS/2004/114W, RIKZ, 26 maart 2004.
14. Boer, S. en L. Barends, Landaanwinning t.b.v. aanleg Tweede Maasvlakte, Doorsteek Alternatief, Hydraulische en morfologische aspecten i.v.m. de nautische toegankelijkheid, het kustonderhoud en consequenties voor de compensatie- en/of mitigatieopgave, Infram, i732-A, versie 1.10, 22 oktober 2003.
15. Boer, S. en L. Barends, Landaanwinning t.b.v. aanleg Tweede Maasvlakte, Doorsteek Alternatief, Morfologische berekeningen t.b.v. kustonderhoud zachte zeewering,

- ontgroning vooroever en aanzanding Euro-Maasgeul, Infram, i732-B, versie 1.10, 12 oktober 2003.
16. Boer, S., Landaanwinning t.b.v. aanleg Tweede Maasvlakte, Doorsteek Alternatief (tussenfase), Morfologische berekeningen t.b.v. kustonderhoud zachte zeewering, ontgroning vooroever en aanzanding Euro-Maasgeul, Infram, 04i047, versie 2.00, juni 2004.
 17. Steijn, R.C., Vervolgstudie zeeweringen MV2, Alkyon / WL Delft Hydraulics, EC-PMR, november 2002.
 18. Roelvink, J.A., G. van Holland en J. Bosboom, 1998, 1999 Kleinschalig morfologisch onderzoek MV2, Fase 1. Validatie morfologische modellering Haringvlietmonding, WL | Delft Hydraulics, rapport Z2428, december 1998.
 19. Steijn, R.C., Eysink, W.D., van Holland, G., Van de Graaf, J. et al, Bandbreedte Morfologische Effectvoorspelling – MV2, Een onderzoek ten behoeve van natuurtypering, Alkyon, A792/Z3127, september 2001.
 20. Boer, S., 1999. Technisch rapport Werkgroep Civiele Techniek. Cluster Realisatie Samenwerkingsverband Maasvlakte 2 Varianten (SM2V).
 21. Steijn, R.C., 1999, Zachte zeewering Maasvlakte-2, Beoordeling van enkele varianten en suggesties voor verbeteringen, Rapport A395r1r1, Alkyon/WL/Arcadis, mei 1999.
 22. Ooms, K. en van Dijke, J., Demas, Zandwinplan en Uitvoeringsscenario's Maasvlakte 2 Varianten, Samenwerkingsverband Maasvlakte 2 Varianten, September 1998.
 23. Vessem, P. van, 1998, Morfologie monding Haringvlietgebied, veranderingen van een dynamisch onderwaterlandschap, MER beheer Haringvlietsluizen, Rapport RIKZ-98.016, RWS/RIKZ, juli 1998.
 24. Suppletie-advies Slufterdam-strand, werkdocument RIKZ/AB/2002.106x, RIKZ, 24 oktober 2002.
 25. Graaff, J. van der, J. van Overeem, Evaluation of Sediment Transport Formulae in Coastal Engineering Practice, TOW, Delft University of Technology, 1979.
 26. Onderbouwing uitgevoerde kostenvergelijking, Notitie behorende bij rapport "Onderhoudsaspecten Doorsteekvariant", definitief concept, oktober 2004, 04i100, PMV2/REA/HbR (in voorbereiding).
 27. A.M. van der Hulst, T. Blokland, "Doorsteekvariant Maasvlakte 2. Stromingsberekeningen Buitencontouren", Ingenieursbureau Gemeentewerken Rotterdam, concept 15 september 2003.
 28. Vertegaal, K., F. Heinis en M.W. van den Tempel, Bepaling opgave natuurcompensatie voor de aanleg van Maasvlakte 2, PMR, concept 21 november 2003.

29. Hoffmans, G.J.C.M. en Verheij, H.J., "Scour Manual", uitgeverij Balkema, 1997.
30. Rijn, L.C. van, Scour near Structures in Coastal Seas, H3210, WL|Delft Hydraulics, 1997.
31. EC-PMR, Landaanwinning – Kustonderhoud, Morfologische aspecten Lay-out Buitencontour & Kust en Zee, verkenning ontwerpruimte – set 1 alternatieven, AAN-02-331, 28-02-2003
32. Jorissen, R.E. en Stroeve, F.M., Sedimentaanvoer reduceert ontgrondingscapaciteit, ontgrondingsprocessen bij de Stormvloedkering Oosterschelde, artikel Land+Water, nummer 7, 1997

Bijlage 1: Overzicht eerder uitgevoerd onderzoek/rapporten

Hieronder wordt een overzicht gegeven van eerder uitgevoerd onderzoek en/of rapporten die als achtergronddocumentatie voor het onderhavige onderzoek kunnen worden gezien.

| Nr. | Titel | Datum van uitkomen | Ingenieursbureau-/schrijvers | Andere relevante informatie |
|-----|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------|-------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1 | Met Maasvlakte II in zee, zeewaarste uitbreiding van de Maasvlakte: Hydraulische, morfologische en ecologische gevolgen voor het zeegebied. | mei 1996 | RIKZ A.P. de Looff F. C. Groenendijk R.M. Salden A.C. Smaal | Rapport RIKZ-95.047 |
| 2 | Grootschalig morfodynamisch modelonderzoek, invloed van de vormgeving van Maasvlakte-2 op de grootschalige morfodynamica van de Nederlandse kust (5 delen). | oktober 1996 | WL R.C. Steijn | Rapport bestaat uit 5 delen. 1) Tekst 2) Figuren 3) Animaties 4) Beschrijving data op tar-tapes 5) Supplement |
| 3 | Ontgrondingen t.g.v. Maasvlakte 2, modelberekeningen m.b.v. SCOUR | april 1997 | WL J. A. Roelvink | Rapport WL H 3059 |
| 4 | Kustonderhoud Delfland en Goeree, Invloed van MV2-varianten op het kustonderhoud van Delfland en Goeree. | augustus 1997 | Alkyon R.C. Steijn | Rapport Alkyon A168, NB: Het rapport van juni '97 is vervallen |
| 5 | De beïnvloeding van water-, en zoutbeweging langs de Nederlandse kust | oktober 1997 | RIKZ E.V.L. Kuijper | Rapport RIKZ-97.010 (2e editie) |
| 6 | Berekeningen waterbeweging project Maasvlakte 2, variant 5 (1000 ha) Rijmamo model | november 1997 | Svasek E.A. Conard | Rapportnr 97512/1040 |
| 7 | Grootschalige lange-termijn effecten van Maasvlakte 2 en gerelateerde zandwinningsvarianten. Morfologische effecten op de Nederlandse kust van Zeeuws-Vlaanderen tot Den Helder over een periode van 300 jaar | december 1997 | WL D.J.R. Walstra | Projectnummer: Z2255/A194 |
| 8 | Het effect van een zandwinkuil op de stroomcontractie door Maasvlakte 2 | februari 1998 | RIKZ E.V.L. Kuijper | Werkdocument RIKZ/ AB-98.107X |
| 9 | Natuurontwikkeling Haringvlietmonding | maart 1998 | H. Brouwer L. Uit den Bogaard | RIKZ/AB-98.112 Concept |
| 10 | Morfologie Haringvlietmond: Lange termijn voorspellingen | september 1998 | R.C. Steijn | Definitief |

04i100: Onderhoudsaspecten Doorsteekvariant

| Nr. | Titel | Datum van uitkomen | Ingenieursbureau- /schrijvers | Andere relevante informatie |
|-----|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------|
| 11 | Slibberekeningen Maasvlakte 2: Grootschalige verspreiding van vertroebeling door baggerwerk | augustus 1998 | A. Nolte | WL/Delft Hydraulics |
| 12 | Morfologie Atlas: Morfologie in de Haringvlietmond | juli 1998 | Leo Uit den Bogaard | |
| 13 | De invloed van de vormgeving van Maasvlakte 2 op de stromingen in de Euro-Maasgeul | september1998 | Svasek | Rapportnr. 98380/1077 |
| 14 | Waterbeweging in Zandwingebieden t.b.v. product K2000 | november1998 | Svasek | Rapportnr. 98454/1081 |
| 15 | Hydraulische aspecten Maasvlakte 2 berekend met RIJMAMO 3D | februari 1999 | Svasek | Eindrapportage, rapport nr98430/1036, incl. map met bijlagen. |
| 16 | Kleinschalig morfologisch onderzoek MV2, Fase 1. Validatie morfologische modellering Haringvlietmond. | december 1998 | WL, J.A. Roelvink, G van Holland, J. Bosboom. | WL rapport Z2428 |
| 17 | Het beïnvloeden van de stroomcontracite bij MV2 door een stroomverlammingskuil | november1998 | J. van der Linden | Werkdocument RIKZ/AB-98.128x |
| 18 | Risico-analyse morfologische effecten Maasvlakte 2 en gerelateerde zandwinning | januari 1999 | Bouwdienst RWS, M.J. Dijkman, B.S. Wiersum T.J. Zitman | Rapport MEMV2-5-99029 |
| 19 | De invloed van de vormgeving van een Maasvlakte 2 op de stromingen bij de haveningang | januari 1999 | Svasek | samenvattend rapport FINEL berekeningen rapportnr: 98462/1077 |
| 20 | Natuurontwikkeling Haringvlietmond in samenhang met MV2 | voorjaar 1999 | SM2V, Leo Uit den Bogaard Hans Brouwer | |
| 21 | Morfologische ontwikkeling "Estuarium Varianten" enkele overwegingen | maart 1999 | Alkyon, R.C. Steijn | rapportnr.: A431RlrO |
| 22 | Kleinschalig aanslibbingsonderzoek MV2 | april1999 | | |
| 23 | Zachte zeeweringen MV2: Beoordeling van enkele varianten en suggesties voor verbeteringen | mei 1999 | Alkyon, WL, Arcadis Steijn, R.C., J.H. de Vroeg, M.C. Onderwater, J.A. Roelvink en G. Burger, | Rapport A395r1r1, Alkyon / WL / Arcadis, mei 1999 |
| 24 | Kleinschalig morfologisch onderzoek, | juli 1999 | WL\Delft Hydraulics, dr .ir.J.A. Roelvink | Z2627 |
| 25 | verslag gevoeligheidsonderzoek tweede Maasvlakte op nutriënt- en chlorofylgehalten in de kustzone | september1999 | WL\Delft Hydraulics, J.G. Boon | Z2632 |
| 26 | SLIB 3-D berekeningen Maasvlakte 2, second opinion | december 1999 | WL\Delft Hydraulics, J.C. Winterwerp | Z2754 |
| 27 | Seiches Europoort, vervolg seichesberekeningen Maasvlakte 2 varianten | december1999 | WL/Delft Hydraulics H.W.J. Kernkamp | Z2635 |
| 28 | Saltspray aan de kust van Voome, Goeree en Slufter, meetverslag | december 1999 | WL/Delft Hydraulics M. Marchand, M. Jansen, | Z2621 |

04i100: Onderhoudsaspecten Doorsteekvariant

| Nr. | Titel | Datum van uitkomen | Ingenieursbureau- /schrijvers | Andere relevante informatie |
|-----|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------|----------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------|
| | | | E.B. Peerbolte | |
| 29 | Berekeningen stroomverlamingskuil | oktober 1998 | Gemeentewerken Rotterdam Mw. G. van Hout D.R. Hoomstra | R99.022 |
| 30 | Golfgegevens Haringvliet buitendelta | december 1999 | Alkyon M. Onderwater | A395-20R2r1 |
| 31 | Veranderingen in de zoutnevel (saltspray) ten gevolge van een gewijzigd golfklimaat in de monding van het Haringvliet (gewijzigde versie) | december 1999 | WL/Delft Hydraulics M. Marchand, M. Jansen, G. van Holland, M. Stive | Z2514 |
| 32 | Slibgehalterelaties in de Waddenzee en toepassing hiervan op de Haringvlietmond | december 1999 | Geoplus BV / i.s.m. RIKZ, Koos de Vries | 2 delen: tekst en figuren |
| 33 | Openstelling Oostvoomse Meer een quick scan | mei 2000 | D. Dillingh (redactie) | |
| 34 | Morfologische veranderingen in de Haringvlietmond | juli 2000 | Alkyon Rob Steijn | Rapport A678 |
| 35 | Stroming binnengebied Maasvlakte 2, Budget variant + variant A | juli 2000 | Alkyon G. van Banning | Rapport A622, 2 delen, tekst + figuren |
| 36 | Morfologisch onderzoek Maasvlakte 2, onderhoud zachte zeeweringen, grootschalige ontgroning en aanzanding Maasgeul | juni 2000 | Alkyon, R.C. Steijn G. van Holland J.A. Roelvink M.C. Onderwater | Rapport A597/Z2861 |
| 37 | Morfologische veranderingen in de Haringvlietmond – 2 | oktober 2000 | Alkyon, Rob Steijn | Rapport A694 |
| 38 | Morfologische veranderingen rondom landaanwinning PMR | februari 2001 | Alkyon, Rob Steijn | Rapport A762 |
| 39 | Effects of land reclamation Maasvlakte 2 on silt transport and siltation | mei 2001 | WL I Delft Hydraulics Thijs van Kessel, Pauline Thoolen | Rapport Z2874 |
| 40 | Onderzoek naar de zoutdepositie aan de monding van het Haringvliet en Nieuwe Maas | september 2001 | Buro Blauw | Rapport BL200 1.1877 . 0 1 |
| 41 | Stromingsberekeningen buiten- en binnengebied Maasvlakte 2 | oktober 2001 | Svasek, M. Jansen | Rapport 1181 |
| 42 | Bandbreedte morfologische effectvoorspelling | september 2001 | Alkyon/WL/ TUD Steijn, Eysink, v. Holland van de Graaff | Rapport A792/ Z3I27 |
| 43 | Effecten van een landaanwinning Maasvlakte 2 op het slibtransport langs de Nederlandse kust | november 2001 | J.G. Boon, T. van Kessel | Rapport Z32I5 |

04i100: Onderhoudsaspecten Doorsteekvariant

| Nr. | Titel | Datum van uitkomen | Ingenieursbureau- /schrijvers | Andere relevante informatie |
|-----|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------|--------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------|
| 44 | Referentieplan Landaanwinning, Expertise Centrum PMR, Rapport m.b.t. activiteiten terrein, zeewering en havendammen | periode 1997-1999 | SM2V, werkgroep CT, S. Boer e.a. | versie 1, maart 2001 |
| 45 | Expertise Centrum PMR, Alternatieve MV2-Ontwerpen, verkenning naar de mogelijkheden om de onderhoudsbehoefte van MV2 te beperken | mei 2001 | Alkyon / WL Delft Hydraulics Steijn, R.C. en J.A. Roelvink | Verslag van een bureaustudie, Rapport A808, mei 2001 |
| 46 | Onderzoek naar beperking onderhoudskosten zeewering (1), optimalisatie buitencontouren landaanwinning vanuit morfologie bekeken (vraag CPB) | juni 2001 | EC-PMR | |
| 47 | Zandwinplan voor 2 tussenfaseringsen en 9 varianten t.b.v. Maasvlakte 2 | september 1999 | Demas | |
| 48 | Hydrodynamica en morfodynamica van de monding van het haringvliet – validatie van modeltechnieken voor een intergetijde gebied. | augustus 1997 | Holland van, G. | Afstudeerrapport tud, 1997, WL-rapport Z2301.61 |
| 49 | Vervolgstudie zeeweringen MV2, EC-PMR | november 2002 | Alkyon / WL Delft Hydraulics, Steijn, R.C. | |
| 50 | EC-PMR, Landaanwinning-Kustonderhoud en aanzanding Euro-Maasgeul, verkenning ontwerprijmte – set 1 alternatieven | 20-03-2003 | S. Boer L. Barends M. Groenewoud M. van der Straaten B. Hooigeboom | AAN-02-375 |
| 51 | EC-PMR, Landaanwinning – Kustonderhoud, Morfologische aspecten Lay-out Buitencontour & Kust en Zee, verkenning ontwerprijmte – set 1 alternatieven | 28-02-2003 | S. Boer L. Barends M. Groenewoud M. van der Straaten B. Hooigeboom | AAN-02-331 |
| 52 | EC-PMR, Ontwerprapport Terrein, Zeewering en Havendammen | maart 2003 | D. Hoornstra | AAN-02-330 |
| 53 | Landaanwinning t.b.v. aanleg Tweede Maasvlakte, Doorsteek Alternatief, Hydraulische en morfologische aspecten i.v.m. de nautische toegankelijkheid, het kustonderhoud en consequenties voor de compensatie- en/of mitigatieopgave. | 22 oktober 2003 | S. Boer L. Barends | Infram, i732-A, versie 1.10 |
| 54 | Landaanwinning t.b.v. aanleg Tweede Maasvlakte, Doorsteek Alternatief, Morfologische berekeningen t.b.v. kustonderhoud zachte zeewering, ontgronding vooroever en aanzanding Euro-Maasgeul | 12 oktober 2003 | S. Boer L. Barends | Infram, i732-B, versie 1.10 |
| 55 | Landaanwinning t.b.v. aanleg Tweede Maasvlakte, Doorsteek Alternatief (tussenfase), Morfologische berekeningen t.b.v. kustonderhoud zachte zeewering, ontgronding vooroever en aanzanding Euro-Maasgeul, | juni 2004 | S. Boer | Infram, 04i047, versie 2.00 |

Bijlage 2: Concepts for coastal engineering measures for coastal protection and beach improvement

A.1 Introductory remarks

In this Appendix introductory remarks are made with respect to the conceptual design and the selection of engineering options for coastal protection and beach improvement. Note that the Appendix only aims at preliminarily presenting some considerations for the selection of coastal engineering options.

A.2 General considerations on coastal engineering options for protection and improvement

A.2.1 Approach

For the definition of a sound coastal defence and improvement strategy one must take into account on the one hand the benefits obtained from protecting/improving the coastline and on the other the cost of these coastal defence/improvement measures.

For such definition, the next three steps can be followed:

Step 1) Analysis of the situation without coastal measures

Coastal engineering analysis

- analysis of the coastline retreat in the past and prediction of the future coastline position;
- quantification of the land loss.

Socio-economic analysis

- inventory of past, actual and future land use taking into consideration the functions of this coastal area (agriculture, urban settlements, industry, tourism, nature, etc.);
- quantification of the expected loss in economic and in qualitative (ecological) terms.

Step 2) Analysis of the situation with coastal measures

Coastal engineering analysis

- selection of a measure (or of a range of measures);
- assessment of the cost of the measure;
- prediction of the future coastline position with the measure.

Socio-economic analysis

- quantification of the benefits and the negative side-effects resulting of the coastal measures in economic and in qualitative terms.

Step 3) Definition of coastal defence and improvement strategy

Shoreline management analysis

- weighing at one side benefits obtained from protecting/improving the coastal zone and at the other side the cost (and the drawbacks) of these measures;
- final definition of coastal defence strategy.

A.2.2 Specific reasons for coastal defence measures

Coastal defence measures can be subdivided into the following three groups indicating different levels of approach:

- the zero-option: do nothing; wait and see;
- measures to take away the cause of the erosion;
- measures to counteract the erosion, or to alleviate the effect of coastal erosion.

For the sound basis of any measure it is absolutely necessary to know the cause or causes of erosion. In this context, the word "erosion" is already used here too easily, since the notion "erosion" incorporates the tacit assumption that the recession of the waterline is indeed caused by "erosion", "erosion" meaning the local abduction and loss of material by natural processes. What is mostly meant when using the words "coastline erosion" stems in fact from the objective observation of "coastline recession". In fact, there may be (and indeed there are) other causes for the recession of the waterline than "erosion", such as for instance local mining, or local subsidence of the land, or a gradual rise of the absolute mean sea level, or a combination of these factors. In many instances though coastal recession, either associated with natural processes or with man-made interventions, is mainly caused by a deficit in the local sediment transport budget. This means that, over a certain period of time - say one year, more sediment is leaving a certain control area than entering it. For the theoretical analysis (through the use of numerical models such as UNIBEST) of the effectiveness of coastal defence measures, the following three basic situations can be considered, namely erosion caused by gradients in the longshore transport of sediment, erosion caused by cross-shore transport of sediment, and erosion caused by a combination of both types of transport. Each of these basic situations asks for specific measures; wrongly devised measures are just a waste of money or may even make the problem worse. Therefore, before defining the appropriate measures, it is necessary to gain a detailed and quantitative knowledge of the causes of coastline recession, including the sediment transport patterns and quantities.

A.2.3 The zero-option

The decision of not defending parts of the coastline may be right, but should be taken only after a careful analysis of the causes of the erosion and of the consequences of such "not defending". Considerations as indicated above in the analysis for shoreline management should be taken into account. One consideration with respect to the zero-option is that there may be a natural, long-term *fluctuation* in the transport rates which may cause just a temporary and a local erosion problem, for example associated with transient offshore topography causing a temporary increase in local wave heights. In such a case it might be wise to postpone engineering measures as long as possible, awaiting a natural solution of the problem. To apply this option, a sufficiently landward set-back line must be implemented as a part of shoreline management.

A.2.4 Measures to take away the cause of erosion

One example of a measure to take away the cause of erosion, which is very relevant for many coastlines all over the world, is the case of coastal erosion caused by river dam construction for irrigation and other purposes. Before the construction of the dams, the river sediments were transported undisturbed (except for local river bed mining) towards the mouth of the river, where the waves were distributing the sediments along the coast, thereby feeding the adjacent shorelines. In order to re-establish this natural coastal nourishment situation after dam construction, one could think of the installation of sediment by-pass systems at the dams.

Another example of a measure to take away the cause of erosion is to redesign (or even completely remove) coastal structures which have inadvertently caused or increased local erosion.

A third example of a measure to take away the cause of erosion is the stopping of the once massive (illegal) sand and gravel mining activities on the beach, and replenish the beach.

In the fourth place, one could artificially by-pass the sand which is blocked by harbours and marinas to limit or annihilate the downdrift erosion.

Measures to take away the cause of the erosion in general represent a "sustainable development".

A.2.5 Measures to counteract the erosion

These measures can be subdivided according to their operating principles into three groups:

1) Measures to restore the beach:

- artificial nourishment only (without additional structures),
- perched beach
- beach drainage system
- beach scraping

2) Measures to slow down the rate of the longshore and/or cross-shore transport:

- groynes,
- detached breakwater,
- artificial bar.

3) Measures to prevent the waves from reaching the erodible material:

- sea wall,
- revetment.

Below the various protection measures will be described in more detail.

ad. 1: Measures to restore the beach

Artificial sand/gravel nourishment

Beach nourishment (see Figure 1) is a flexible method to counteract coastal erosion. It is an operation which in most cases should be repeated periodically. Sand (or gravel) availability is however a crucial prerequisite. Sand nourishment could be used alone or in combination with protective structures such as groynes and detached (submerged) breakwaters.

An important parameter is the particle size of the nourished sand with respect to the native sand. If the nourished sand is finer than the native sand, then the finer material will be washed away easier, which requires a larger nourishment scheme. The selection between a larger scheme with less expensive fine grained sand and a smaller scheme with coarse and often more expensive sand should be made on the basis of an economic analysis.

The following main types of nourishment can be distinguished:

- dune nourishment
The sand is placed high up the dry beach against the (former) dune. This may for example be done to provide additional safety against flooding of low lands during extreme High Water. The sand is only eroded during the more extreme hydraulic conditions.
- beach nourishment
The sand is placed on the wet and dry beach. The sand will initially be transported with a relatively high rate along the shore and in an offshore direction till a dynamic equilibrium profile has been formed. After that the erosion will continue with a similar rate as before the nourishment.
- foreshore nourishment
The sand is placed at the foreshore (till a depth of say 5 m). The sand will be transported in an offshore direction but also in an onshore direction till a dynamic equilibrium profile has been formed. It is clear that offshore nourishment is less effective than beach nourishment, but on the other hand it may be cheaper. The dredger can just unload at the foreshore, instead of pumping the hopper content through a pipeline-booster-system towards the shore.

The optimum selection from these types of nourishment schemes, or a combination, should be made on the basis of an economic and ecological evaluation.

Perched beach

The perched beach (see Figure 2) combines a beach nourishment (elevated or perched at a higher elevation than the original beach profile) with a low underwater dam. This alternative is used if a small volume of sand or only fine sand is available (the new beach slope may be more gentle than the initial slope). For the same reason, the beach may be constructed in a layered way, by a core body of e.g. gravel topped by a relative thin layer of scarce, good quality beach sand. Such more sophisticated design however is relatively sensitive to extreme wave conditions.

The underwater dam must be impermeable to the sand. Besides graded stones, also use can be made of sand bags or sausages consisting of a geotextile cloth filled with sand. Just like the nourishments, the enclosed sand will also be transported along the shore and offshore till a dynamic equilibrium profile has been formed. Therefore the perched beach should be re-filled regularly.

Beach drainage system

The beach management system consists of a series of filter-encased drainage pipes, a connecting well, a pumping station and a discharge pipe. Water from the wave run-up percolates downward through the sand to the drainage pipes. The water is filtered when it enters into the pipes where it flows by gravity into the central collection well and from there to the pumping station. The beach drainage system reinforces the natural summertime process of sand accretion and prevents the erosion that is normally caused in the winter by the action of the storm waves. The beach drainage system is particularly well suited for use in connection with a beach nourishment. It will efficiently hold the beach nourishment in place for a long period of time without need for further artificial renourishment. It is claimed that adjacent downdrift beaches do not suffer by upstream installation of the beach drainage system. On the contrary, adjacent downdrift beaches will also benefit by the volumes of sand leaked from the continuously replenished bulge of sand in front of the system.

Beach scraping

Beach scraping is removal of material from the lower part of the beach for deposition on the higher part of the beach at the dune toe. It is usually performed by a scraper pan which removes or skims the uppermost layer of the beach. The questions arising are: from where and when can the sand be taken. How shall it be taken and where shall it be dumped. What kind of adverse effects may result, and how can they be avoided. Interest is in this respect concentrated on neighbouring beaches.

On the basis of available literature it can be stated that beach scraping is a controversial subject, as it is sometimes claimed that it does little good to the beach in question and is harmful to adjacent beaches. Different opinions are that beach scraping undertaken in a practical way and modest manner is not harmful but it is rather beneficial as coastal protection of eroding dunes and dykes. Beach scraping is a way of organizing available beach material in a more sensible way – on a short-term basis. But it is a temporary measure only. It does not replace artificial beach nourishment, by which the beach is provided by new material replacing eroded and lost material.

ad. 2: Measures to slow down the rate of transport

Groynes

The basic purpose of a single groyne (see Figure 3) is to interrupt the littoral drift and to accumulate sand at its updrift side. This could be a good solution in special cases, for example where otherwise sediment would be lost to offshore depths, such as near harbours or a natural cape. A special case is a single large groyne (an artificial headland), forming an updrift curved beach with almost zero longshore transport. A combination of two groynes, with bent heads, may create a protected bay (a "closed cell") where wave action and sediment mobility is reduced. The problem in most cases is that erosion occurs (and sometimes even increases) downdrift of the groynes. So in fact the erosion problem is transferred to the downdrift area, in many cases leading to the downdrift extension of the groyne system over the years, leading to a loss of control from a shoreline management point of view. Therefore, it is essential to nourish a groyne protection system as to prevent downdrift erosion. Moreover, the possible problem of the loss of sand in offshore direction (if any) will still continue, or may even be accelerated by the groynes.

In case of a series of relatively short groynes, the shoreline in between the groynes tends to align itself parallel to the crest of the incoming waves, resulting in a local reduction of the longshore transport and consequently in a local erosion at the downdrift side (caused by the deficit in the local sand budget). A full interruption of the longshore transport is only possible when the groynes reach offshore of the effective breaker line. The length and the spacing of groynes together with the given wave climate, determine the beach shape.

Detached breakwater

A single detached (or offshore) breakwater (see Figure 4) in general reduces the wave height in the area behind the breakwater (apart from local end-effects due to diffraction). This results in a local decrease of the sediment transport capacity, both in a longshore and offshore direction. At the downdrift area, the longshore transport is increasing again (to its original value) which results in a local erosion here. Detached breakwaters are especially effective in reducing the shoreline erosion in locations where normally offshore sediment transport occurs. This offshore sediment transport will be interrupted by the breakwater.

Detached breakwaters mostly have the form of an artificial rubble mound dam in the sea, more or less parallel to the shoreline. However, there are also natural examples, e.g. natural rocky islands, which have a similar effect on the waves and on the sediment transport. Artificial detached breakwater concepts could try to follow these natural structures, thereby gaining in terms of the visual and the ecological aspects when compared to the normally applied "dike"-type of detached breakwater structures.

A single detached breakwater, if applied in a situation with little or no net longshore sediment transport, will still act as an accumulator of sand. Wave diffraction on both sides will result in local longshore transport towards the protected area. This causes erosion of both adjacent beaches. In unfortunate cases, both effects are bad: an unwanted tombolo may form, and adjacent beaches may erode beyond an acceptable limit.

If more than one breakwater is built, then the spacing between them should be designed in relation to the distance of the breakwater from the shore. One has to prevent that the accreting beach behind the breakwater does connect to the breakwater (tombolo formation), since this may be dangerous for recreational use.

Artificial bar

The form of the sea bottom directly influences the wave propagation. This may be applied in the following way. If a bar is built artificially, for example by dumping gravel protected by an armour layer of suitable rock, it may be designed in such a way that due to its shape the wave energy is diverted from the eroding beach to more harmless areas (see Figure 5). Such an artificial bar can be seen as a submerged artificial island as was introduced above.

Due to refraction of waves over the bar the wave rays will diverge and converge. This will cause a local decrease and elsewhere an increase of the wave energy along the coastline, and consequently a pattern of erosion/sedimentation/ erosion will occur. It is noted that the total wave energy (apart from possibly enhanced breaking of waves) will remain the same. By designing the bar such that the area of sedimentation coincides with the area to be protected, an effective defense measure can be obtained.

Submerged breakwater

The submerged breakwater can be regarded as a combination of the detached breakwater and the artificial bar. Its main function is to enhance offshore wave breaking so as to reduce nearshore sediment transport. The wave breaking is stimulated in deeper water than would occur normally. The form of the submerged breakwater is defined by its lay-out and its cross-section. The cross-section is most effective if the submerged crest is close to the water surface, while also the slopes and the crest-width play a role in the effectiveness of breaking. The lay-out may show a range of forms: from a single, long structure parallel to the coast to many individual elements, combined in various patterns (see Figure 6).

Many coastlines show natural, submerged breakwaters and along many retreating (eroding) coastlines, naturally occurring rock outcrops form an offshore natural defence system. If properly investigated, artificial submerged breakwater systems might form an interesting solution.

ad. 3: Measures to prevent the waves to reach the erodible shoreline material

Revetments and sea walls

Revetments and sea walls are structures with the primary purpose to protect the shore and the land against wave attack (see Figure 4). They only protect the coast behind them and not the shore in front of them nor the adjacent areas. Due to the fact that locally no sediment can be picked up by the waves, the seabed will be eroded in front and at the downdrift side. The reflection of the waves against the revetment and the wall will increase the sediment transport capacity, resulting in even more local scour in front of the structure. If a relatively short revetment or sea wall is built along a beach which is eroding over a relatively long stretch, then the sea wall may become isolated when the adjacent beaches do retreat. This method asks for progressively additional protection measures, if the cause of the erosion is not local (for example locally high waves) but structural and wide-spread (for example due to cut-off river sediment supply).

To prevent a depletion of the beach by wave reflection a minimum beach profile should always be present in front of the sea wall at all circumstances so that the safety of the sea defences during storm events can be guaranteed.

A.3 Selection and combination of concepts

Selection and combination of the concepts is an integral part of the process of shoreline management. It is very important that no ad hoc decisions are sought. Instead, a balanced decision process should be followed according to the set-up of the project. This means that a selection of the measures must be based on a sufficiently analyzed, integral picture of the leading aspects of shoreline dynamics and of the type and causes of the erosion problems. This integral picture must first be made, which will be done early in Phase III. Selection and subsequent design of measures will then follow.

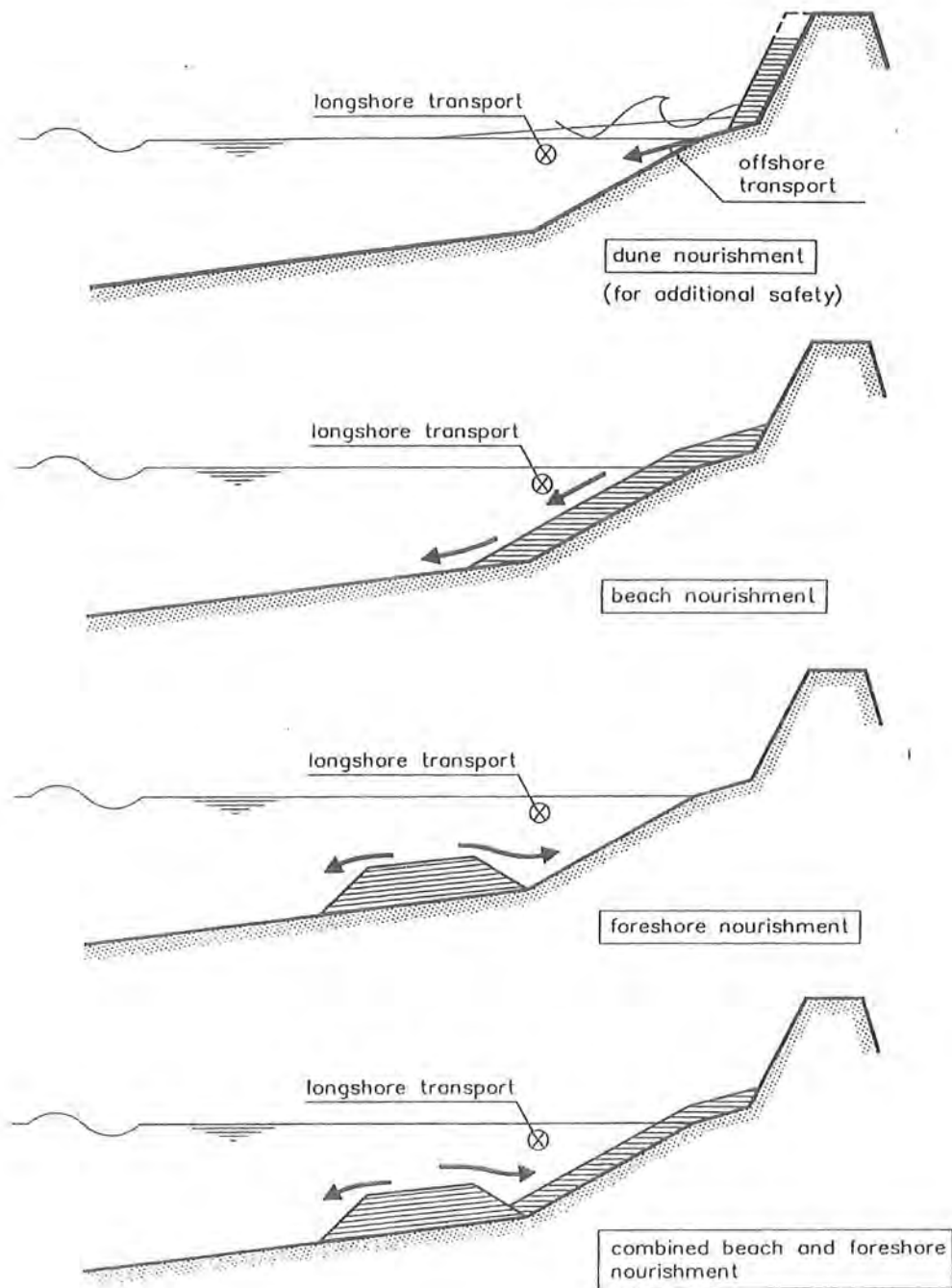


Figure 1: Artificial beach nourishment

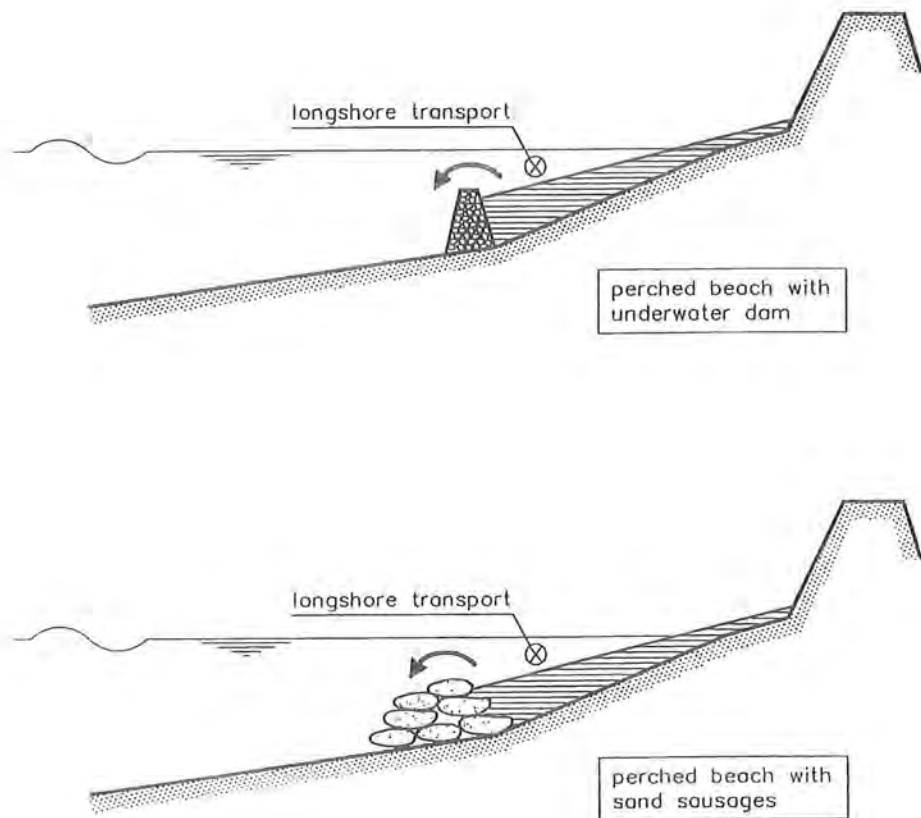


Figure 2: Perched beach

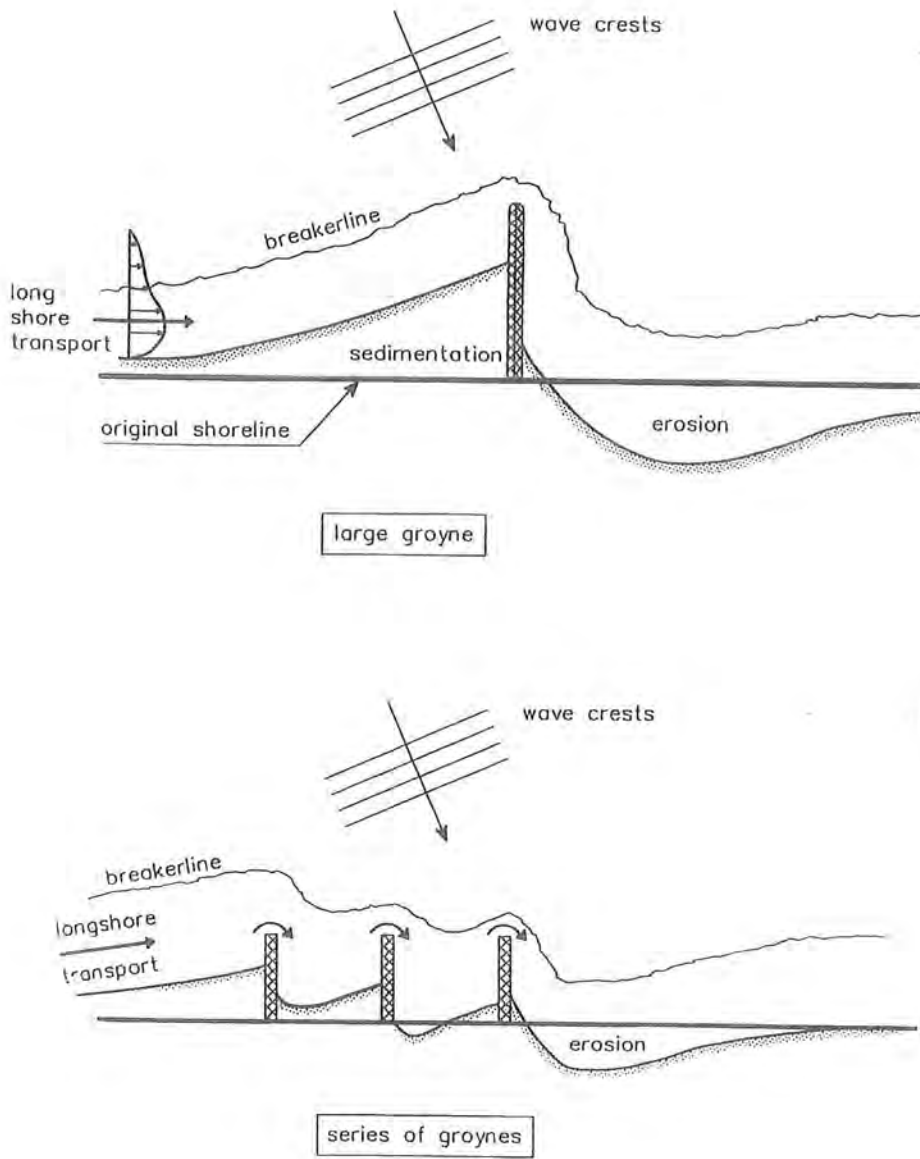


Figure 3: Single or multiple groyne

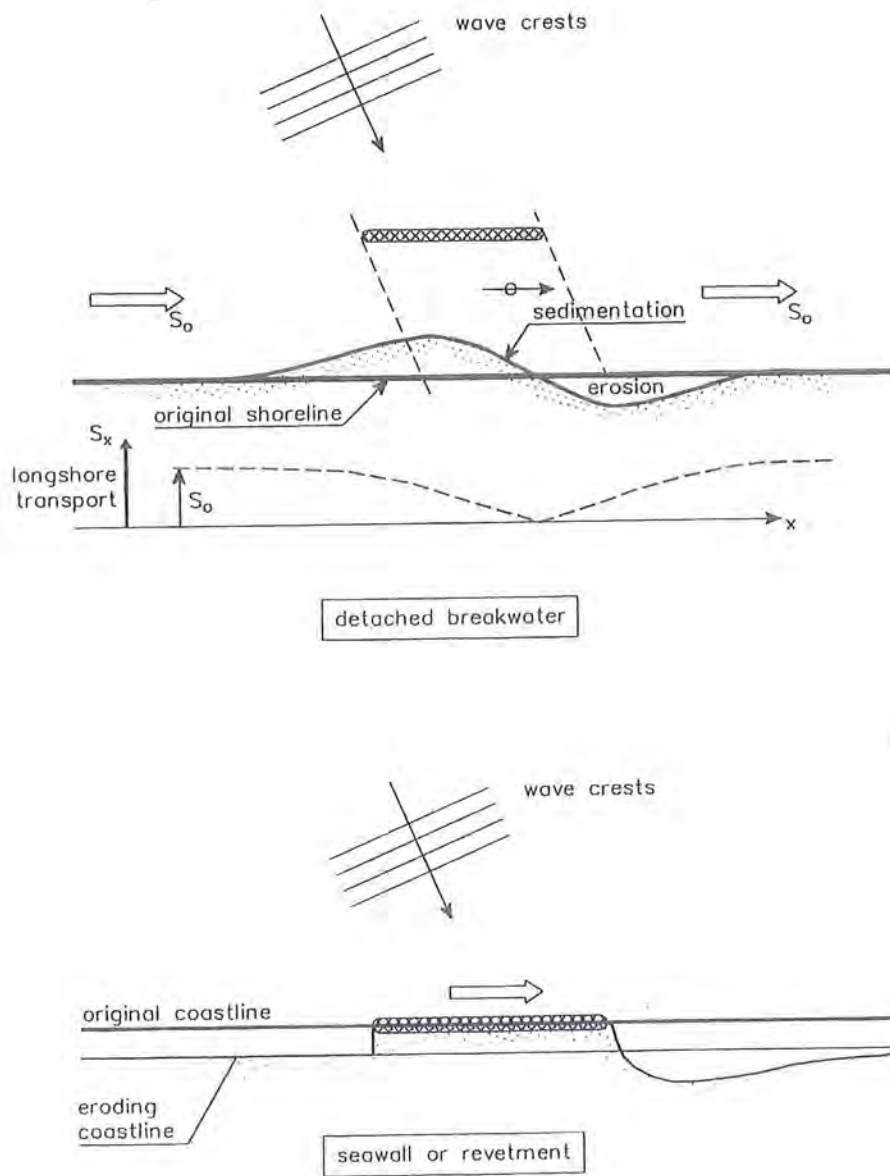


Figure 4: Detached breakwater and seawall or revetment

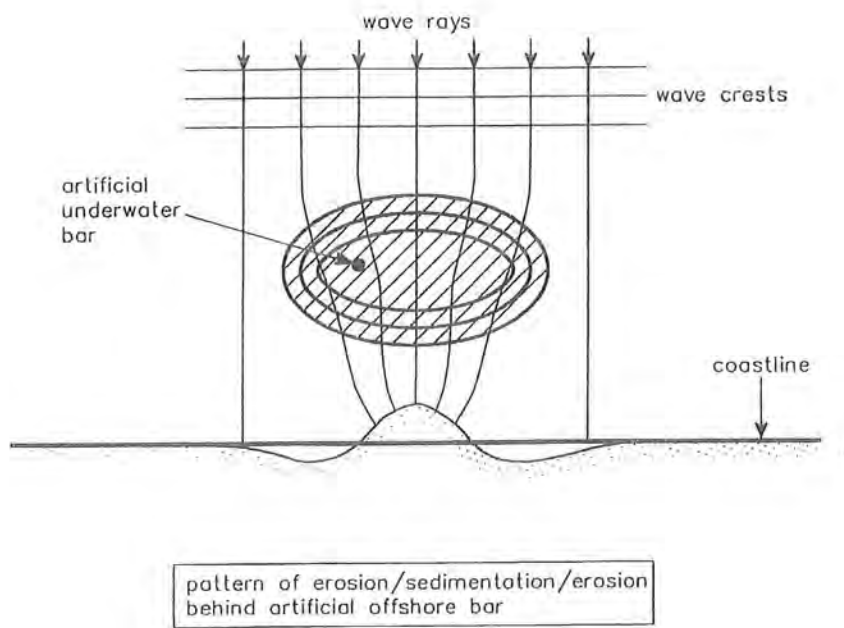


Figure 5: Artificial offshore bar

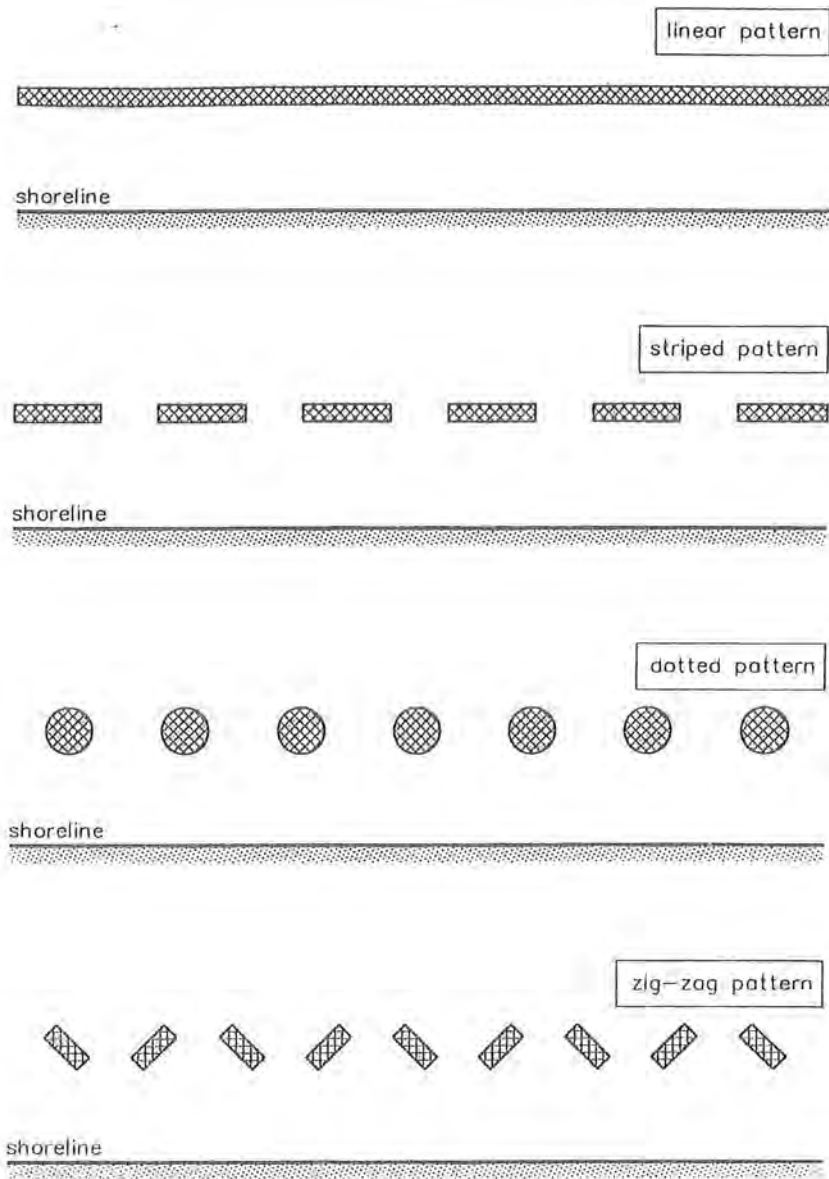


Figure 6: Various patterns of submerged breakwaters