
Morfologisch gedrag van vooroeversuppleties

Afstudeercommissie:
prof. ir. K. d'Angremond
dr. ir. J. van de Graaff
dr. ir. J.A. Roelvink
ir. P.J. Visser

Boudewijn Halbertsma
Faculteit der Civiele Techniek, Delft, Augustus 1997

Voorwoord

Dit afstudeerverslag behandelt de invloed van een vooroeversuppletie op de morfologie van een kust. Er is gebruik gemaakt van UNIBEST, een simulatieprogramma ontwikkeld door het Waterloopkundig Laboratorium.

Dank gaat uit naar de heer J. v.d. Graaff van de TU Delft en de heer J.A. Roelvink van het Waterloopkundig Laboratorium voor de begeleiding tijdens mijn afstuderen..

Boudewijn Halbertsma

Samenvatting

Als men de Nederlandse geschiedenis bekijkt dan is er één steeds terugkerend element te ontdekken: de strijd tegen de zee. Er is in het verleden veel land veroverd op het water, maar er moet constant voor gezorgd worden dat het gewonnen land behouden blijft. Als er niet actief zou worden ingegrepen dan zou binnen afzienbare tijd de kustlijn sterk achteruitgaan, een waddeneiland als Texel zou binnen de kortste keren een groot deel van zijn oppervlakte verliezen.

Nu zijn er verschillende manieren om een bestaande kustlijn te handhaven. De zogenaamde “harde” maatregelen bestaan uit het bouwen van kunstwerken of kustverdedigingen om de oorzaak van het probleem aan te pakken. Een nadeel van deze methode is vaak dat het probleem zich verplaatst naar een verder gelegen gebied. De “zachte” maatregelen bestaan uit het bestrijden van de gevolgen van de achteruitgang van een kust. Hieronder vallen de zandsuppleties. De methode die het meest gebruikt wordt is de strandsuppletie waarbij het zand direct op het strand wordt gedeponeerd om zo het verloren deel terug te winnen. Een andere, slechts weinig toegepaste methode is de vooroeversuppletie. Hierbij wordt het suppletiemateriaal op enige meters diepte op de vooroever geplaatst, waarna door golven en stroming het zand wordt getransporteerd naar de kust. Een voordeel van deze methode is dat de recreatie er geen hinder van ondervindt, ook is het storten van zand op een bepaalde diepte eenvoudiger (goedkoper) dan het opspuiten van een strand.

Deze studie is erop gericht inzicht te verkrijgen in het effect dat een vooroeversuppletie heeft op de morfologie van een kust.

Als uitgangspunt wordt een kustprofiel bij Egmond aan Zee genomen, waarin een aantal verschillende vooroeversuppleties wordt aangebracht. Er wordt gebruik gemaakt van UNIBEST, een simulatieprogramma ontwikkeld door het Waterloopkundig Laboratorium. Dit programma maakt onderscheid tussen het dwarstransport (loodrecht op de kustlijn) en het langstransport (evenwijdig aan de kustlijn).

Als eerste wordt gekeken naar de effecten van de suppleties op bepaalde stromingsverschijnselen. Sterke stroming en opwoeling van zand op de suppletie zorgen voor veel dwarstransport. Doordat golven gaan breken op de suppleties zal er een sterke langstroom op de suppleties ontstaan. Deze stroom veroorzaakt zandtransport.

Daarna zijn de volumes van het getransporteerde zand onderzocht. Er is gekeken naar de transporten onder invloed van een golfveld gedurende 1 jaar. Bij het dwarstransport blijkt dat de suppleties die het dichtst bij de kust liggen het meeste zand naar de kust transporteren. Bij de hoogste suppletie is dit iets minder dan de helft. De suppletie die het verst van de kust af ligt heeft nauwelijks invloed op het zandtransport, deze werkt vooral als golfbreker.

Als laatste zijn de gevonden transporten omgezet naar morfologische veranderingen van de kust. Door dwarstransport verplaatsen de suppleties zich in zeewaartse richting en neemt de hoogte sterk af. Hoe dieper de suppletie ligt, hoe kleiner de verplaatsing en hoogte afname zijn. Door het langstransport verplaatsen de suppleties zich evenwijdig aan de kust en verspreiden ze zich. De grootste verplaatsing is minder dan 10% van de initiële lengte van de suppletie, de verspreiding is in de orde van de halve suppletielengte evenwijdig aan de kustlijn. Als laatste is gekeken naar de invloed van de suppleties op het langstransport aan landzijde van de suppleties (tussen de suppleties en de kustlijn). De suppleties die het dichtst bij de kust liggen geven de meeste aanzanding en erosie, deze komen voor bij de uiteinden van de suppleties.

VOORWOORD.....	I
SAMENVATTING.....	II
INHOUDSOPGAVE	III
1. INLEIDING.....	1
2. PROBLEEM OMSCHRIJVING.....	2
2.1 OPZET VAN HET ONDERZOEK.....	2
2.2 GEBRUIK UNIBEST	3
3. TRANSPORT MECHANISME.....	4
3.1 DWARSTRANSPORT.....	4
3.1.1 Golfvoortplanting en energiedissipatie	4
3.1.2 Stromingen	7
3.1.3 Orbitaalsnelheden.....	10
3.1.4 Sedimenttransporten	11
3.1.5 Profielveranderingen.....	15
3.2 LANGSTRANSPORT.....	15
3.2.1 Stromingen	15
3.2.2 Sedimenttransporten	18
4. STROMINGSBEELD BIJ EEN SUPPLETIE.....	21
4.1 INGEVOERDE GEGEVENS.....	21
4.2 RESULTATEN SIMULATIES	23
4.2.1 Dwarstransport.....	23
4.2.2 Langstransport.....	28
4.2.3 Getij	30
4.3 VERGELIJKING UNIBEST-TC VERSIES.....	31
4.3.1 Orbitaalsnelheid.....	31
4.3.2 Dwarstransport.....	32
5. ZANDTRANSPORTEN BIJ EEN SUPPLETIE.....	34
5.1 INGEVOERDE GEGEVENS.....	34
5.1.1 Dwarstransport (UNIBEST-TC)	35
5.1.2 Langstransport (UNIBEST-LT).....	36
5.2 RESULTATEN SIMULATIES	37
5.2.1 Dwarstransport.....	37
5.2.2 Langstransport.....	41
6. VERSPREIDING EN VERPLAATSING.....	45
6.1 DWARSRICHTING.....	45
6.2 LANGSRICHTING.....	48
6.2.1 Verplaatsing evenwijdig aan de kustlijn	48
6.2.2 Verspreiding evenwijdig aan de kustlijn.....	49
6.2.3 Aanzanding en erosie aan landzijde van de suppleties	51
7. CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN.....	55
7.1 CONCLUSIES.....	55
7.2 AANBEVELINGEN.....	55
LITERATUURLIJST	57
BIJLAGEN.....	58

BIJLAGE 1 DWARSPROFIELEN

BIJLAGE 2 ZAND PARAMETERS

BIJLAGE 3 GOLF PARAMETERS

BIJLAGE 4 BEINVLOEDING VAN GOLVEN EN STROMING DOOR EEN SUPPLETIE

BIJLAGE 5 ZANDTRANSPORTEN BIJ EEN VOOROEVERSUPPLETIE

BIJLAGE 6 PARAMETERS VOOR AANZANDING EN EROSIE

1. Inleiding

Een typisch kenmerk van een zandige kust is het continu veranderen van de langs- en dwarsprofielen onder invloed van golven en stroming. Zowel aanzanding (accretie) als erosie kunnen in bepaalde gebieden problemen veroorzaken, b.v. aanslibbing van een havengeul of het verdwijnen van een stuk strand. Langs de Nederlandse westkust doet zich voornamelijk erosie voor, wat leidt tot het terugtrekken van de kustlijn. Een veel gebruikte methode om dit tegen te gaan is het toepassen van zandsuppleties: het aanbrengen van zand op plaatsen waar het strand verdwenen is. De gebruikelijke methode hiervoor is het storten van zand op het strand. In 1993 is voor het eerst in Nederland voor de kust van Terschelling een andere methode gebruikt: een vooroever zandsuppletie waarbij het zand niet direct op het strand maar op een afstand uit de kust op vijf tot zeven meter diepte werd gestort. Hierbij wordt er van uitgegaan dat het gestorte zand zich door de werking van golven en stroming verspreidt en gedeeltelijk op het strand terecht komt. Een dergelijke suppletie vergt meer zand maar is per eenheid van volume goedkoper en kan het hele jaar door uitgevoerd worden omdat de recreatie er geen hinder van ondervindt.

Er is in het verleden al een aantal vooroeversuppleties toegepast, met wisselend succes. Er is nog geen goed inzicht in de kwantitatieve verhoudingen tussen het rendement van een vooroeversuppletie en dat van een strandsuppletie.

Een vooroeversuppletie (uitgaande van een bank evenwijdig aan de kust) heeft min of meer de werking van een onderwater golfbreker. Bij het overwegen van de toepassing van een vooroeversuppletie zou dit in overweging genomen kunnen worden.

De suppletie zelf zal onder invloed van de zandtransporten veranderingen ondergaan. Hij zal zich verplaatsen en er treedt een vormverandering op.

Dit onderzoek is er op gericht inzicht te verkrijgen in de verandering van de zandtransporten bij toepassing van een vooroeversuppletie, om een beschrijving te kunnen maken van de gevolgen hiervan. Er zal naar een verband gezocht worden in verschillen bij uitgangssituaties met variërende parameters van golfvelden en dwarsprofielen. Hierbij is gebruik gemaakt van het simulatie programma UNIBEST.

2. Probleem omschrijving

Sedimenttransport in het kustgebied, met name in de brandingszone, is zeer complex en laat zich moeilijk beschrijven. Doel van dit onderzoek is om inzicht te verkrijgen in de veranderingen in dit sedimenttransport en de gevolgen daarvan voor het kustprofiel na aanbrengen van een vooroeversuppletie met bepaalde afmetingen op een bepaalde plaats.

2.1 Opzet van het onderzoek

Allereerst zal een beschrijving gegeven worden van de theorie van de fysische processen die een rol spelen in het zandtransport in de kustzone. Aangezien er geen analytische oplossing voor het probleem bestaat moet er op een andere manier naar een oplossing gezocht worden. Er is een aantal modellen ontwikkeld om een numerieke benadering te geven. Eén daarvan is UNIBEST, een door het Waterloopkundig Laboratorium ontwikkeld simulatieprogramma voor sedimenttransporten van een zandige kust. In dit programma kan een willekeurig profiel onder een willekeurig golfveld ingevoerd worden.

Er is voor gekozen een bestaand profiel zodanig aan te passen dat er geen grote oneffenheden in voorkomen, dit om de effecten van het aanbrengen van de suppleties duidelijker te maken.

Het onderzoek bestaat uit drie delen:

1. Het vaststellen van de invloed van een vooroeversuppletie op de verschijnselen die een rol spelen in het sedimenttransportproces.

Hierin zal met behulp van UNIBEST voor een aantal stromingsverschijnselen aangegeven worden hoe ze veranderen als er een vooroeversuppletie wordt toegepast. Voor een aantal verschillende suppleties en golfhoogtes zullen de uitkomsten vergeleken worden (kwalitatief).

2. Het onderzoeken van de relatie tussen een bepaalde suppletie en de verandering in sedimenttransporten.

Door het vergelijken van volume berekeningen op de suppleties en aan de landzijde ervan bij invoering van golfgegevens gedurende één jaar zal bepaald worden wat het verschil in sedimenttransport is tussen het basisprofiel en de profielen met suppletie. Er wordt gekeken naar de veranderingen in een standaard volume gebied en naar transport van zand van de suppletie (kwantitatief).

Er zal voor een aantal parameters vergeleken worden wat hun invloed is op de verschillen in sedimenttransporten:

- lengte / hoogte verhouding van de suppletie
- aanlegdiepte van de suppletie

3. Het bepalen van de invloed van de verkregen sedimenttransporten op de morfologie van het gebied waarin de suppletie zich bevindt.

Er zal gekeken worden naar de verplaatsing en de vervorming van een suppletie en naar de afstand waarover bepaalde verschijnselen invloed hebben. Ook wordt er een beschouwing

gegeven van de randverschijnselen bij de langstransporten (bij de uiteinden van de suppletie) om de overgang van het sedimenttransport bij het basisprofiel naar transport bij een suppletie te kunnen beschrijven.

In het rapport zal steeds één van de suppletie gevallen vergeleken worden met de uitgangssituatie van het basisprofiel. De simulaties van alle onderzochte profielen staan in de bijlagen.

2.2 Gebruik UNIBEST

UNIBEST is een acroniem voor UnIform BEach Sediment Transport. Het programma is verdeeld in 3 modules voor respectievelijk het berekenen van het dwarstransport, het transport evenwijdig aan de kust en de kustlijnontwikkeling.

De invoergegevens van het programma zijn bepaald aan de hand van veel voorkomende golfgegevens en een zo eenvoudig mogelijk dwarsprofiel. Er is getracht de simulaties zo op te bouwen dat het effect van iedere extra randvoorwaarde zo goed mogelijk duidelijk kan worden gemaakt. Er is met twee versies van het programma UNIBEST-TC (dwarstransport) gewerkt en er wordt een vergelijking gemaakt tussen de uitkomsten van de beide versies.

3. Transport mechanisme

Onder invloed van golven wordt zand van de bodem losgemaakt en getransporteerd. Een willekeurig zandig kustprofiel verandert voortdurend onder de invloed van golven en stroming. Bij een gegeven golfveld dat op een kust aankomt hoort een bepaald evenwichtsprofiel. Omdat het golfveld steeds verandert wordt dit profiel echter nooit bereikt en er ontstaat een zogenaamd dynamisch evenwicht waarbij het dwarsprofiel constant naar het evenwichtsprofiel beweegt dat bij het momentane golfveld hoort. Het dwarstransport vindt voornamelijk plaats onder brekende golven.

Bij dit onderzoek is gebruik gemaakt van twee modules van UNIBEST:

- UNIBEST-TC voor modellering van het dwarstransport
- UNIBEST-LT voor modellering van het langstransport.

Van UNIBEST-TC zijn twee versies beschikbaar. Zowel de nieuwe als de oude is gebruikt. Aan de hand van beide modules zullen de verschijnselen besproken worden die een rol spelen in de transportprocessen.

3.1 Dwarstransport

Golven die aankomen op een kust zijn voornamelijk windgolven opgewekt op zee. Als deze golven een kust naderen ondergaan ze een aantal veranderingen. Dit komt voornamelijk door de invloed van de bodem, op diep water is die invloed niet merkbaar. De golven veroorzaken stromingen, zowel loodrecht op de kust als evenwijdig aan de kust. Deze verschijnselen worden behandeld aan de hand van een fysische beschrijving van de nieuwe versie van UNIBEST-TC en er wordt aangegeven waar deze verschilt van de oude versie.

In het programma worden een profiel en een golf- en getijveld ingevoerd. Vervolgens wordt het profiel verdeeld in kleinere rekenstappen (het grid) en wordt een tijdstap voor de berekeningen ingevoerd. Bij de keuze van deze waarden moet een compromis gevonden worden tussen nauwkeurigheid en snelheid van het berekeningen. Per grid- en tijdstap worden voor het ingevoerde profiel en golfveld de volgende onderdelen berekend:

- Golfvoortplanting en energie dissipatie
- Stromingen
- Orbitaalsnelheden
- Sedimenttransporten
- Profielveranderingen

Aan de hand van deze punten wordt het dwarstransport en de modellering hiervan in UNIBEST-TC behandeld.

3.1.1 Golfvoortplanting en energiedissipatie

Voor het zandtransport in de kustzone is een aantal processen van belang. Als op een kust met een willekeurig profiel golven aankomen ondergaan deze golven veranderingen onder invloed van wrijving met de bodem, diepteverschillen (hellend profiel, zandbanken, golfbrekers). Er worden drie differentiaalvergelijkingen numeriek geïntegreerd over het dwarsprofiel, twee energiebalansen en een impulsbalans.

3.1.1.1 Energiebalans

In dit model wordt de energiedissipatie van een (brekende) golf met een bepaalde hoogte gerelateerd aan die van een watersprong met dezelfde hoogte. Voor de beschrijving is een specificatie van de verdeling van gemiddelde golf energiedichtheid (E) nodig om de golf energiebalans op te kunnen lossen. De energiebalans is (Battjes & Janssen (1978)):

$$\frac{\partial}{\partial x}(EC_g \cos\theta) = -D_w - D_f \quad 3.1$$

waarin:

- E = golfenergie [J/m^2]
- D_w = dissipatie van golfenergie [$J/m^2/s$]
- D_f = dissipatie door bodemwrijving [$J/m^2/s$]
- θ = invalshoek golven [$^\circ$]
- C_g = groepssnelheid van de golven [m/s]

De kans dat een bepaalde golfhoogte op een bepaald punt wordt geassocieerd met een brekende of een gebroken golf wordt gegeven door:

$$Q_b = \exp \left(- \frac{1 - Q_b}{(H_{rms}/H_m)^2} \right) \quad 3.2$$

waarin:

- Q_b = kans dat golfhoogte wordt geassocieerd met brekende golf
- H = golfhoogte [m]
- $H_{rms} = \left\{ \int_0^\infty H^2 dF(H) \right\}^{1/2}$
- $F(H)$ = kansverdelingsfunctie van de golfhoogten.
- H_m = hoogte waarbij de golven gaan breken volgens criterium van Miche:

$$H_m = \frac{0.88}{k} \tanh \left(\frac{\gamma k h_r}{0.88} \right) \quad 3.3$$

waarin:

- k = golfgetal ($2\pi/\text{golflengte}$)
- γ = breker parameter
- h_r = lokale diepte

De energiedissipatie in een watersprong wordt gebruikt om een schatting te geven van de energiedissipatie in brekende golven. De gemiddelde dissipatie per eenheid van oppervlakte wordt dan:

$$D_w = \frac{\alpha}{4} Q_b \bar{f} \rho g H_m^2 \quad 3.4$$

waarin:

- $\bar{f}$ = gemiddelde frequentie [s^{-1}]
 α = coëfficiënt van de orde 1
 g = versnelling van de zwaartekracht [m/s^2]

In de nieuwe versie is er nog een differentiaalvergelijking geïntroduceerd, namelijk die voor energie die wordt gedissipeerd door zogenaamde “rollers” (Nairn et al. 1990). Deze rollers verplaatsen zich op een brekende golf en dissiperen energie. De balans is als volgt:

$$\frac{\partial}{\partial x}(2E_r C \cos \theta) = +D_w - \text{Diss} \quad 3.5$$

waarin:

- E_r = roller energie [J/m^2]
 C = golfvoortplantingssnelheid [m/s]
 Diss = totale energie dissipatie door breken [$J/m/s$]

De vergelijking wordt opgelost met:

$$\text{Diss} = 2\beta g \frac{E_r}{C} \quad 3.6$$

waarin:

- β = coëfficiënt (0.05 - 0.10)

3.1.1.2 Impulsbalans

De impulsbalans loodrecht op de kust wordt gebruikt om de wave-setup te berekenen:

$$\frac{d}{dx} S_{xx} + \rho g h \frac{d\bar{\eta}}{dx} = 0 \quad 3.7$$

waarin:

- h = $\bar{\eta} - z_b$ [m]
 $\bar{\eta}$ = hoogte van het gemiddelde water niveau boven referentie niveau [m]
 S_{xx} = golfspanning [N/m]

De netto impulsoverdracht onder golven is niet nul. Deze impulsoverdracht heeft de werking van een inwendige spanning in het water waarin de golven zich bevinden, de zogenaamde golfspanning. De golfspanning is gerelateerd aan de golfhoogte.

De grootte van de golfspanningscomponent loodrecht op de kust wordt als volgt uitgedrukt:

$$S_{xx} = \left\{ \left(2 \frac{C_g}{C} \cos^2 \theta - 0.5 \right) E + 2E_r \cos^2 \theta \right\} \quad 3.8$$

Waarin:

$$C_g = nC \text{ [m/s]}$$

$$n = \frac{1}{2} + \frac{kh}{\sinh 2kh}$$

Formulering oude versie UNIBEST-TC

In vergelijking 3.8 is ook de roller energie opgenomen, in de oude versie van UNIBEST-TC komt deze niet voor en geldt de volgende definitie:

$$S_{xx} = E\{n(1 + \cos^2 \theta_w) - \frac{1}{2}\}$$

In deze vergelijkingen in θ de invalshoek van de golven. Door refractie verandert deze invalshoek. Refractie van golven betekent dat de fasesnelheid langs de golfkam niet gelijk is. Hierdoor treedt een richtingsverandering van de golfkam op. Dit verschijnsel doet zich voor als een golfkam over een gebied met niet uniforme diepte loopt, onder een hoek met de dieptelijnen. Aangezien in ondiep water de fasesnelheid slechts afhangt van de waterdiepte ($c = \sqrt{gh}$) zal de golfkam bijdraaien naar een richting loodrecht op de dieptelijnen.

De hoek van inval van de golven met de normaal op de kust wordt berekend met de wet van Snellius:

$$\frac{\sin \theta}{\sin \theta_0} = \frac{C}{C_0} \quad 3.9$$

Waarin:

C_0 = golfsnelheid op diep water

θ_0 = golfhoek op diep water

3.1.2 Stromingen

Voor het gemiddeld stromingsprofiel wordt gebruik gemaakt van het drie lagen model (De Vriend & Stive (1987)). Er worden drie lagen gedefinieerd, zie figuur 3.1.

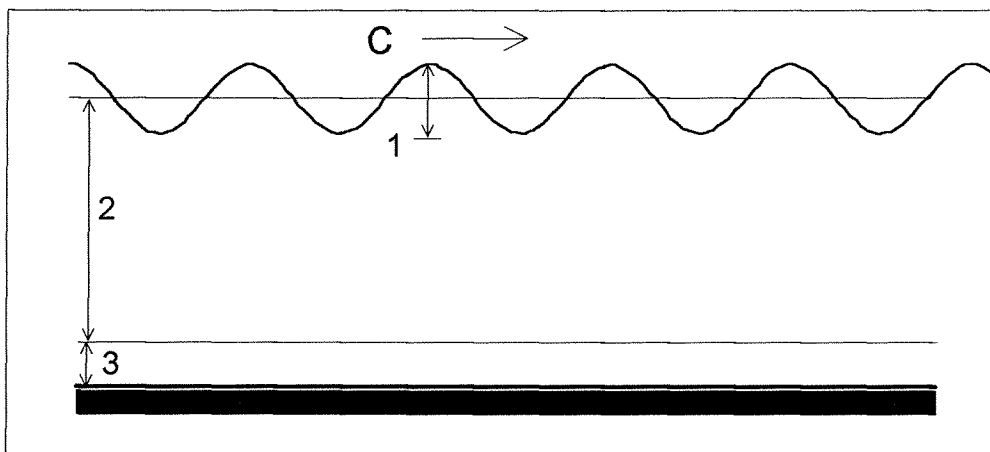


Fig. 3.1 Drie lagen model

1. Oppervlaktelaag; van golftop tot golfdal
2. Middelste laag; van gemiddeld waterniveau tot de bodemlaag
3. Bodemlaag

De invloed van de oppervlaktelaag op de middelste laag wordt in rekening gebracht door een schuifspanning op het dalniveau. Het snelheidsprofiel in de middelste laag en de bodemlaag wordt gevonden door de volgende relatie te integreren:

$$\tau_i = \frac{\rho v_t}{h} \frac{\partial u_i}{\partial \sigma} \quad 3.10$$

waarin:

- τ_i = schuifspanning
 ρ = massadichtheid water [kg/m^3]
 v_t = turbulente viscositeit
 h = waterdiepte [m]
 u_i = stroomsnelheid [m/s]
 σ = relatieve hoogte boven de bodem z/h

Als randvoorwaarde wordt $u_i = 0$ bij $\sigma = \sigma_0$ aangehouden. Met deze voorwaarde kan de snelheid in de bodemlaag door integratie verkregen worden. De snelheid boven in de bodemlaag wordt als randvoorwaarde voor de middelste laag gebruikt. Door beide te integreren kan de diepte gemiddelde snelheid worden uitgerekend.

Onder niet-brekende golven geeft het gemiddeld snelheidsprofiel een stroming naar de kust te zien bij de bodem, zie figuur 3.2.

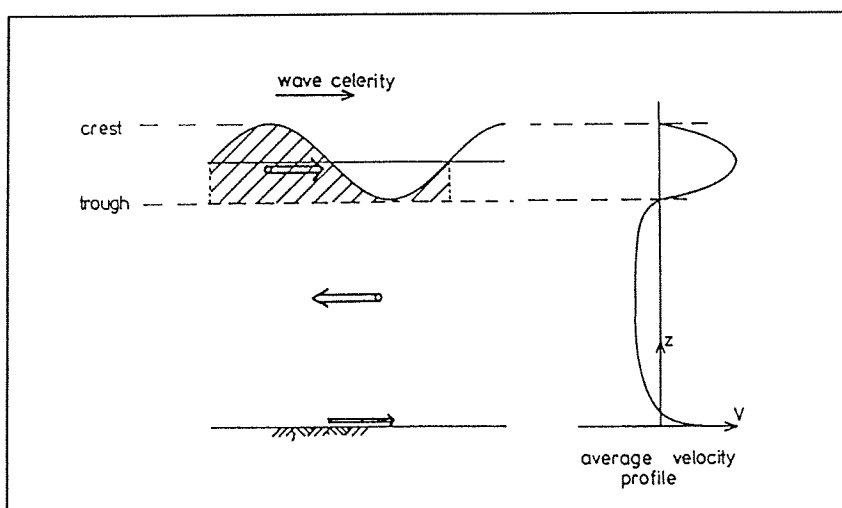


Fig. 3.2 Waterbalans onder golven

Dit verschijnsel heet streaming en is gerelateerd aan de energiedissipatie aan de bodem. De turbulente viscositeit kan in drie verschillende delen gesplitst worden. We onderscheiden turbulente viscositeit gerelateerd aan:

- stroming die wordt aangedreven door verhang in de waterspiegel
- stroming aangedreven door wind
- het breken van golven

De totale viscositeit is een combinatie van deze drie:

$$\bar{v}_t = \sqrt{\bar{v}_{t,stroming}^2 + \bar{v}_{t,wind}^2 + \bar{v}_{t,breken}^2} \quad 3.11$$

In de oppervlaktelaag geldt de volgende definitie:

$$\bar{v}_{t,oppervlakte} = \frac{3}{2} \sqrt{\bar{v}_{t,wind}^2 + \bar{v}_{t,breken}^2} \quad 3.12$$

Een stromingsverschijnsel dat veel invloed heeft op het sedimenttransport is de retourstroom die ontstaat door het breken van golven. In het gebied waar de invloed van de bodem merkbaar wordt zal de golfhoogte aanvankelijk toenemen (shoaling) tot het punt waar de golven gaan breken. Vanaf de brekerlijn zal de golfhoogte afnemen en met de golfhoogte de golfspanning loodrecht op de kust. Deze afname zal gecompenseerd worden door een verhang in de waterspiegel, dit wordt de wave-setup genoemd, zie figuur 3.3.

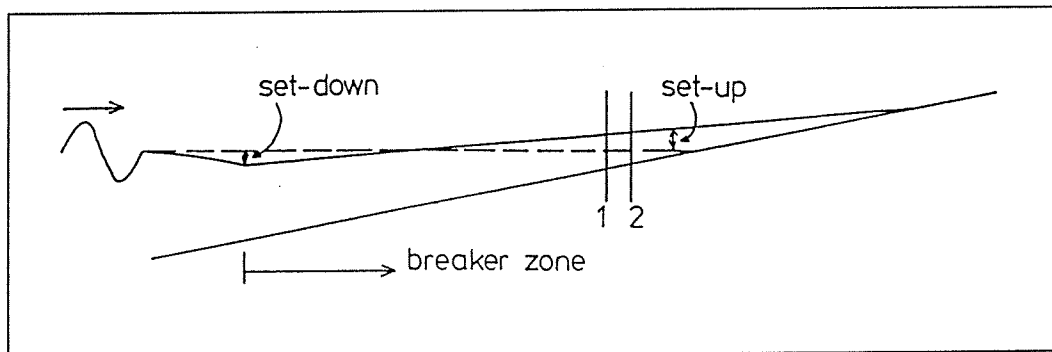


Fig. 3.3 Wave set-up en set-down

Omdat de impulsoverdracht voornamelijk plaatsvindt bij het oppervlak (hier is de orbitaalbeweging het grootst) en de reactie daarop in de vorm van wave-setup gelijkmatig verdeeld is (hydrostatische druk) ontstaat er aan het oppervlak een resulterende kracht naar de kust en aan de bodem een kracht naar de zee gericht. Dit resulteert in een circulatie stroom waarbij de zeewaartse stroom langs de bodem loopt, zie figuur 3.4.

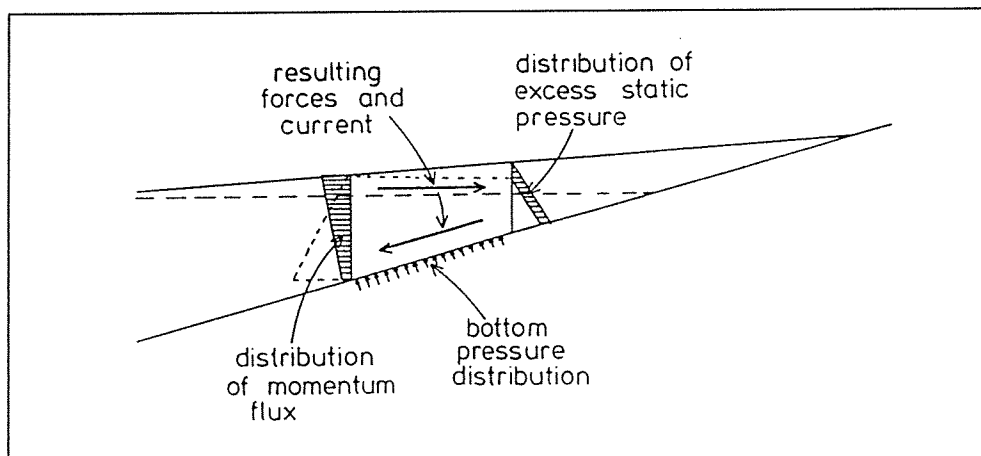


Fig. 3.4 Circulatie stroming in de brekerzone

3.1.3 Orbitaalsnelheden

De lineaire golftheorie geeft de volgende uitdrukking voor de amplitude van de horizontale orbitaalsnelheid onder een passerende golf:

$$\hat{u} = \omega a \frac{\cosh k(h+z)}{\sinh kh} \quad 3.13$$

waarin:

- $\hat{u}$ = amplitude van de orbitaalbeweging [m/s]
- ω = hoeksnelheid [rad/s]
- a = golfamplitude [m]
- k = golfgetal ($= 2\pi/L$) [m^{-1}]
- h = bodemniveau [m]
- z = niveau onder gemiddeld waterniveau [m]

Formulering oude versie UNIBEST-TC

In de nieuwe versie worden complete tijdseries van de orbitaalsnelheden bij de bodem gebruikt, in de oude versie zijn slechts snelheidsmomenten benodigd.

De netto impulsoverdracht die bijdraagt aan de waterbeweging varieert in plaats en in tijd. Hierdoor wordt een lange golfbeweging opgewekt met periodes en lengten die vergelijkbaar zijn met die van de golfgroepen. Deze lange golven genereren ook een orbitaalsnelheid. De amplitude van een lange golf die ontstaat uit twee golfgroepen met gelijke amplitude en verschillende hoeksnelheid is volgens Sand (1982):

$$\xi_a = -G_{mn} \frac{a_n a_m}{h} \quad 3.14$$

waarin:

$$a_n = a_m = \frac{1}{8} H_{rms}^2 - \frac{1}{2} \xi_a^2$$

- ξ_a = amplitude van de lange golf
- a_m, a_n = amplitudes korte golven
- $G_{m,n}$ = transfer functie
- h = lokale diepte

Deze lange golf veroorzaakt een orbitaalsnelheid:

$$U = \hat{u}_1 \cos(\omega_1, t) \quad 3.15$$

waarin:

$$\hat{u}_1 = \xi_a \frac{\sqrt{gh}}{h} \quad [m/s]$$

$$\omega_1 = \frac{1}{5} \omega \text{ [rad/s]}$$

De totale orbitaalsnelheid wordt verkregen door de snelheden van de korte en de lange golven bij elkaar op te tellen.

In werkelijkheid zal het sinusvormige oppervlaktepatroon uit de lineaire golftheorie niet voorkomen. De golven vertonen een asymmetrisch patroon met hogere, steilere toppen en langgerekte dalen. De golftoppen liggen meer dan de halve golfhoogte boven de middenstand. Deze asymmetrie neemt toe naarmate de golven zich in ondieper water bevinden, zie figuur 3.5.

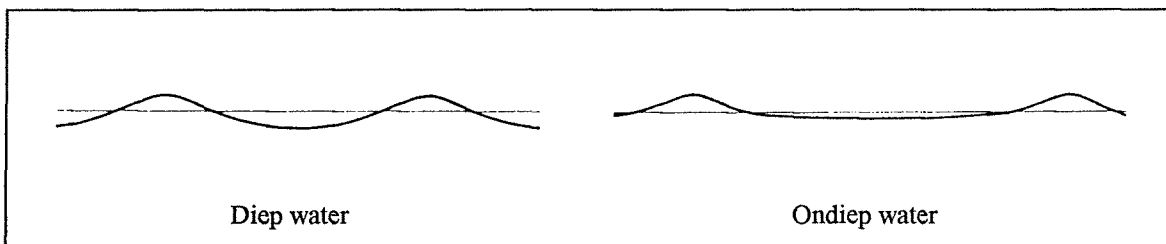


Fig. 3.5 Golf asymmetrie

Dit golfpatroon kan benaderd worden door niet-lineaire termen die in de lineaire golftheorie verwaarloosd worden toch in rekening te brengen. In deze niet-lineaire benaderingen hebben de deeltjessnelheden een asymmetrie die het oppervlakteprofiel volgt: een kortdurende hoge snelheid onder de golftop en een relatief lange, lage snelheid onder het golfdal. Doordat het zandtransport (kwadratisch) gerelateerd is aan de stroomsnelheid veroorzaakt de snelheidspiek in de golftop een netto kustwaarts sedimenttransport. Dit is een belangrijke oorzaak van kustwaarts zandtransport.

Niet-lineaire golftheorieën voorspellen een deeltjesbaan die niet gesloten is, de zogenaamde Stokes-drift, zie figuur 3.6.

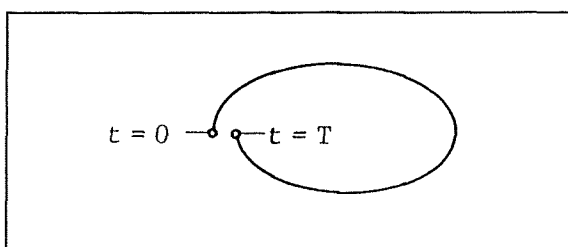


Fig. 3.6 Stokes drift

Deze asymmetrie heeft een netto kustwaarts massatransport tot gevolg dat, met de sterkste stroming aan het oppervlak (door de grootte van de orbitaalbeweging). Deze stroming wordt gecompenseerd door een zeewaartse stroom dichtbij de bodem.

3.1.4 Sedimenttransporten

Er wordt een onderscheid gemaakt tussen bodemtransport en zwevend transport. Bij bodemtransport houden de korrels min of meer contact met de bodem, bij zwevend transport worden de deeltjes in suspensie gehouden door turbulente diffusie.

3.1.4.1 Bodemtransport

Er worden twee dimensieloze parameters ingevoerd voor het dimensieloos transport. Voor transport onder golven:

$$\Phi_{bw} = \frac{q_b}{w_s d_{50}} \quad 3.16$$

en voor transport onder uniforme stroming:

$$\Phi_{bd} = \frac{q_b}{(\Delta g d_{50}^3)^{0.5}} \quad 3.17$$

waarin:

Φ_{bw}, Φ_{bd}	= dimensieloos transport
q_b	= bodem transport
w_s	= valsnelheid sediment
d_{50}	= mediaan korrelgrootte
Δ	= relatief gewicht onder water

Om het bodemtransport als functie van de tijd te beschrijven is het wenselijk om voor beide situaties van stroming dezelfde uitdrukking te gebruiken. De algemene formulering voor het dimensieloos transport luidt:

$$\Phi_b(t) = m \frac{\{|\theta'(t)| - \theta_c\}^n \theta'(t)}{|\theta'(t)|} \quad 3.18$$

waarin:

Φ_b	= Φ_{bw} of Φ_{bd}
$\theta'(t)$	= instantane Shields parameter (onder golven)
θ_c	= kritieke Shields parameter

Voor de instantane Shields parameter onder golven wordt de volgende formulering gebruikt:

$$\theta'(t) = \frac{1}{2} \rho f'_{cw} \frac{|u_b(t)| u_b(t)}{(\rho_s - \rho) g d_{50}} \quad 3.19$$

waarin:

f'_{cw}	= wrijvingsfactor
u_b	= horizontale snelheid bij de bodem
ρ_s	= dichtheid van sediment

Als een aantal uitkomsten voor alleen golven en alleen stroming worden gecombineerd dan wordt door curve fitting de volgende (quasi-statische) formule gevonden:

$$\Phi_{bd} = \frac{q_b(t)}{\sqrt{\Delta g d_{50}^3}} = 9.1 \frac{\{|\theta'(t)| - \theta_c\}^{1.78} \theta'(t)}{|\theta'(t)|} \quad 3.20$$

Gebruik makend van de snelheden bij de bodem van golven en stroming samen en met een gewogen wrijvingsfactor f'_{cw} worden de volgende algemene uitdrukkingen voor x- en y-richting gevonden:

$$q_{bx} = \frac{|q_b| u_{bx}}{u_b} \quad 3.21a$$

en

$$q_{by} = \frac{|q_b| u_{by}}{u_b} \quad 3.21b$$

waarin:

q_b = de vector van het bodemtransport door golven en stroming

u_b = vector voor de snelheid bij de bodem op $z = \delta$, δ = dikte grenslaag

q_b wordt gevonden door Φ_{bd} uit vergelijking 3.20 op te lossen, gebruik makend van 3.19.

3.1.4.2 Zwevend transport

Het zwevend transport kan worden berekend uit het product van de instantane snelheid en de sediment concentratie over de verticaal:

$$q_s = \int_a^{h+\eta} VCdz \quad 3.22$$

met $V = v + \bar{v}$ en $C = c + \bar{c}$

waarin:

V = lokale instantane stroomsnelheid op hoogte z

C = lokale instantane sedimentconcentratie op hoogte z

v = snelheid op hoogte z , gemiddeld over tijd en plaats

c = concentratie op hoogte z , gemiddeld over tijd en plaats

$\bar{v}$ = oscillerende snelheidscomponent

$\bar{c}$ = oscillerende concentratiecomponent

η = oppervlakte uitwijking

Vergelijking 3.22 kan gesplitst worden in transport door golven en transport door stroming. Na middeling over tijd en plaats volgt:

$$\bar{q}_s = \int_a^h vcdz + \int_a^h \bar{v}\bar{c}dz = \bar{q}_{s,c} + \bar{q}_{s,w} \quad 3.23$$

waarin:

$\bar{q}_{s,c}$ = transport door stroming, gemiddeld over de tijd

$\bar{q}_{s,w}$ = transport door golven, gemiddeld over de tijd

$\bar{q}_{s,w}$ wordt niet apart berekend omdat het niet goed mogelijk is om de (instantane) concentratie van sediment in het water als gevolg van golven te beschrijven.

Voor de berekening van de evenwichtsconcentratie van sediment in uniforme stroming wordt meestal de convectie-diffusie vergelijking gebruikt. Om de invloed van de golven in rekening te brengen wordt de mengingscoëfficiënt aangepast. De vergelijking luidt:

$$w_{s,m} c(z) + \varepsilon_{s,cw}(z) \frac{dc(z)}{dz} = 0 \quad 3.24$$

waarin:

$w_{s,m}$ = valsnelheid van sediment in suspensie

$\varepsilon_{s,cw}(z)$ = sediment mengingscoëfficiënt voor combinatie van golven en stroming

$c(z)$ = tijdgemiddelde sediment concentratie op hoogte z boven de bodem

Hier wordt aangenomen dat de convectie-diffusie vergelijking ook geldt voor menging door golven. De mengingscoëfficiënt wordt dan als volgt bepaald:

$$\varepsilon_{s,cw}(z) = \left[\left(\varepsilon_{s,w}(z) \right)^2 + \left(\varepsilon_{s,c}(z) \right)^2 \right]^{0.5} \quad 3.25$$

waarin:

$\varepsilon_{s,w}(z)$ = menging door golven

$\varepsilon_{s,c}(z)$ = menging door stroming

De mengcoëfficiënten zijn afhankelijk van onder andere de diepte, golfhoogte en stroomsnelheid. Hiermee kan vergelijking 3.24 worden opgelost en de concentratie als functie van de diepte worden gevonden:

$$c(z) = c_a e^{-w \int \frac{1}{\varepsilon_{s,cw}(z)} dz} \quad 3.26$$

waarin:

c_a = concentratie op referentiehoogte a boven de bodem

Als ook de stroomsnelheden als functie van de hoogte bekend zijn dan kan de vergelijking voor het zwevend transport (3.22) opgelost worden.

Formulering oude versie UNIBEST-TC

In de oude versie wordt de transport vergelijking van Bailard gebruikt. Hierbij is de energiedissipatie een functie van de instantane snelheid V . Omdat slechts een deel van de gedissipeerde energie wordt gebruikt voor sedimenttransport worden efficiency factoren

ingevoerd om het transport aan de dissipatie te koppelen. Omdat bodemtransport en zwevend transport de energie op verschillende manieren gebruiken worden er twee formuleringen gebruikt met verschillende efficiency factoren:

$$S_b(t) = \frac{\rho c_f \varepsilon_b}{(\rho_s - \rho)g(1-p)\tan\varphi} \left[|u(t)|^2 u(t) - \frac{\tan\beta}{\tan\varphi} |u(t)|^3 \right]$$

$$S_s(t) = \frac{\rho c_f \varepsilon_s}{(\rho_s - \rho)g(1-p)w} \left[|u(t)|^3 u(t) - \frac{\varepsilon_s}{w} \tan\beta |u(t)|^5 \right]$$

waarin:

- S_b = bodem transport
- S_s = zwevend transport
- c_f = weerstandscoefficiënt van de bodem (gerelateerd aan f_w)
- φ = hoek van inwendige wrijving van het sediment
- β = helling van het profiel
- ε_b = efficiency factor voor bodem transport (0.10)
- ε_s = efficiency factor voor zwevend transport (0.02)

3.1.5 Profielveranderingen

Gebruik makend van de massa balans:

$$\frac{\partial z}{\partial t} + \frac{\partial S_x}{\partial x} = 0 \quad 3.27$$

wordt voor iedere gridstap per tijdstap de bodemhoogte aangepast aan het netto sedimenttransport.

3.2 Langstransport

Doordat de meeste golven schuin invallen op de kust ontstaat er een stroom evenwijdig aan de kust. Dit is de langsstroom en deze zal besproken worden aan de hand van het gebruikte programma UNIBEST-LT.

De volgende onderdelen zullen worden besproken:

- Stromingen
- Sedimenttransporten

Het golfvoortplanting- en energiedissipatiemodel zijn hetzelfde als bij UNIBEST-TC. Profielveranderingen worden niet berekend in UNIBEST-LT.

3.2.1 Stromingen

De basisvergelijking die de langsstroming beschrijft is de impulsbalans in langsrichting:

$$\frac{\partial}{\partial x} S_{xy} + \rho g h \frac{\partial h_0}{\partial y} + \rho \frac{g}{C^2} V |V_{\text{tot}}| = 0 \quad 3.28$$

waarin:

S_{xy} = golfspanningscomponent

$\frac{\partial h_0}{\partial y}$ = helling van de waterspiegel door het getij

C = wrijvingscoëfficiënt van Chézy

V_{tot} = snelheids functie in schuifspanningsterm; $V_{\text{tot}} = \sqrt{V^2 + U_{\text{rms}}^2}$ (U_{rms} = orbitaalsnelheid)

De eerste twee termen uit deze vergelijking worden nader toegelicht.

3.2.1.1 Golfspanning

De langsstroom opgewekt door golven ontstaat door de schuifspanningscomponent van de golfspanning: S_{yx} . De hoofdrichtingen S_{xx} en S_{yy} van de golfspanning zijn respectievelijk loodrecht op en evenwijdig aan de golfkammen. Als golven niet loodrecht op een kust aankomen zijn deze hoofdrichtingen te ontbinden in twee componenten loodrecht op en evenwijdig aan de kust, S_{xx} en S_{yy} , en twee schuifspanningscomponenten S_{xy} en S_{yx} , zie figuur 3.7

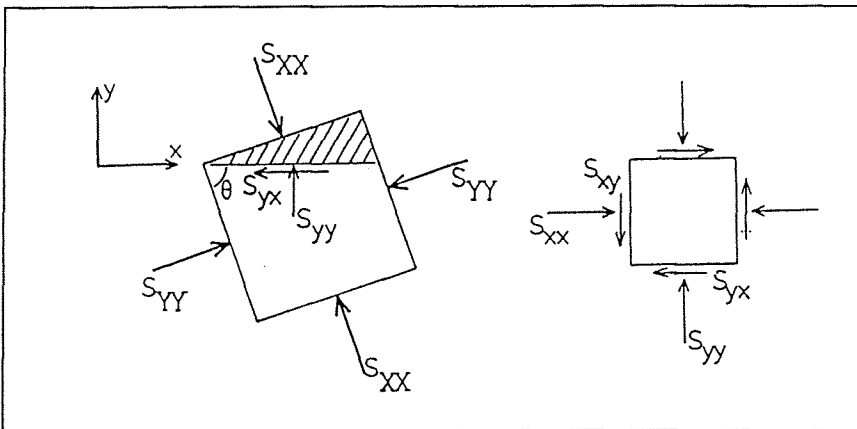


Fig. 3.7 Golfspanningscomponenten

Omdat S_{xx} en S_{yy} veranderen (onder andere door het breken van golven) zal er een gradiënt:

$$\frac{dS_{yx}}{dy} \quad 3.29$$

ontstaan. Dit houdt in dat er een netto kracht op een infinitesimaal waterpakketje staat. Deze kracht zal een stroming langs de kust aandrijven waarbij de opgewekte bodemwrijving in evenwicht is met de netto schuifspanningscomponent van de golfspanning.

3.2.1.2 Getij

Een getijgolf gaat gepaard met een gradiënt in de waterspiegel langs de kust. Deze gradiënt

$$-\frac{\partial V}{\partial t} - V \frac{\partial V}{\partial x} - g \frac{\partial Z}{\partial x} = \frac{gV|V|}{C^2 h} \quad 3.30$$

C = Chézy factor
g = zwaartekrachtversnelling
h = waterdiepte
V = gemiddelde snelheid over de diepte
x = positie langs de kust
Z = getij hoogte
t = tijd

$$V = C\sqrt{hi} \quad 3.31$$

V = gemiddelde stroomsnelheid over de diepte
C = Chézy factor
h = waterdiepte
i = waterspiegel helling

De helling van de waterspiegel is dan constant in de richting loodrecht op de kust.

Aangenomen dat C slechts zeer weinig varieert verandert de snelheid van de getijstroom met $\sqrt{h}$ (in de richting loodrecht op de kust).

De helling wordt impliciet bepaald door de (ingevoerde) getijsnelheid V_{getij} op referentie diepte d_{ref} :

$$V_{\text{getij}} = C \sqrt{d_{\text{ref}} \frac{dh_0}{dy}} \quad 3.32$$

3.2.2 Sedimenttransporten

In UNIBEST-LT zijn vijf transportformules beschikbaar om het langstransport uit te rekenen:

- Engelund en Hansen
- Bijker
- Van Rijn
- Bailard
- CERC

In dit onderzoek is gewerkt met de formules van Bijker en Van Rijn. Deze combineren het transport van golven en stroming. Aan de hand van de Bijker formule wordt het langstransport besproken.

Uitgangspunt is de vereenvoudigde sedimenttransport vergelijking:

$$S_x = \int_0^{h+\eta} v(z) \overline{c(z)} dz \quad 3.33$$

De formule bestaat uit twee componenten, het bodemtransport en het zwevend transport:

$$S = S_b + S_s$$

Voor het bodemtransport is de Kalinske-Frijlink formule voor rivier transport aangepast voor de invloed van golven. Dit transport treedt op in een laag met een dikte gelijk aan de bodemruwheid, r . De formule is:

$$S_b = \frac{5D_{50} v \sqrt{g}}{C} \exp \left[\frac{-0.27 \Delta D_{50} \rho g}{\mu \tau_{cw}} \right] \quad 3.34$$

waarin:

- S_b = bodemtransport (m^3/sm)
- D_{50} = korrel diameter
- v = gemiddelde stroomsnelheid
- C = Chézy coëfficiënt [$=18 \log(12h/r)$]
- r = bodem ruwheid
- g = zwaartekrachtsversnelling
- Δ = relatieve dichtheid bodemmateriaal [$=(\rho_s - \rho)/\rho$]
- ρ_s = massa dichtheid bodemmateriaal

ρ = massa dichtheid water
 μ = ribbel factor
 $\overline{\tau_{cw}}$ = bodem schuifspanning t.g.v. golven en stroming

$$\overline{\tau_{cw}} = \frac{\rho g V^2}{C^2} \left[1 + 0.5 \left(\xi \frac{u_0}{V} \right)^2 \right] \quad 3.35$$

waarin:

ξ = Bijker parameter

$$\xi = C \sqrt{\frac{f_w}{2g}}$$

f_w = Johnson's wrijvingsfactor

Het zwevend transport wordt gegeven door:

$$S_s = 1.83 Q S_b \quad 3.36$$

waarin:

$$Q = [I_1 \ln(33h/r) + I_2]$$

I_1 en I_2 zijn de Einstein integralen:

$$I_1 = R \int_A^1 \left\{ \frac{1-\zeta}{\zeta} \right\}^{z_*} d\zeta \quad 3.37a$$

$$I_2 = R \int_A^1 \left\{ \frac{1-\zeta}{\zeta} \right\}^{z_*} \ln \zeta d\zeta \quad 3.37b$$

waarin:

ζ = dimensieloze hoogte (z/h)

A = dimensieloze ruwheid (r/h)

$$R = \frac{0.216 A^{(z_*-1)}}{(1-A)^{z_*}}$$

$$z_* = \frac{w}{\kappa V_*}$$

V_* is de schuifspanningssnelheid aangepast aan de invloed van golven:

$$V_* = V_{*cw} = \sqrt{\frac{\tau_{cw}}{\rho}} \quad 3.38$$

4. Stromingsbeeld bij een suppletie

Door het aanbrengen van een vooroeversuppletie zal er een aantal stromings- en golfverschijnselen zoals die beschreven zijn in hoofdstuk 3 beïnvloed worden. In dit hoofdstuk wordt het effect van een vooroeversuppletie op de stroming in de kustzone onderzocht. De veranderingen van de stromingen die van belang zijn voor het zandtransport worden beschouwd, waarbij de resultaten van één profiel als voorbeeld worden genomen. In het volgende hoofdstuk zal bekeken worden hoe het veranderen van deze verschijnselen het zandtransport beïnvloedt. De simulaties van het dwarstransport in dit hoofdstuk zijn uitgevoerd met de oude versie van UNIBEST-TC, in paragraaf 4.3 worden de resultaten vergeleken met uitkomsten van de nieuwe versie.

4.1 Ingevoerde gegevens

Omdat bij deze simulatie wordt gekeken naar het effect van het aanbrengen van een zandsuppletie is een zo vloeiend mogelijk profiel gewenst om de eventuele invloed van geulen of aanwezige zandbanken niet in beschouwing te hoeven nemen. Het gebruikte basisprofiel is afgeleid van het gemiddelde profiel bij de kust van Egmond, zoals beschreven door Kroon (1994). In dit basisprofiel is een aantal verschillende suppleties aangebracht. De suppleties zijn op drie verschillende dieptes aangebracht. Alle genoemde dieptes gelden onder het gemiddeld zeeniveau, in de profielen is dit op 0 m. Verder zijn er voor de suppletie die het dichtst bij de kust ligt drie alternatieven bekeken met verschillende lengte / hoogte verhoudingen. Een uitgebreide beschrijving staat in bijlage 1.

In het nu te behandelen profiel is een suppletie aangebracht waarvan het middelpunt op 4 m onder het gemiddeld zeeniveau ligt. Het volume van de suppletie is $196 \text{ m}^3 / \text{m}'$. De hellingen aan weerszijden zijn 1 : 14 en de bovenkant is evenwijdig aan het oorspronkelijke profiel; de bank bevindt zich tussen 1980 tot 2106 m, zie figuur 4.1 en tabel 4.1.

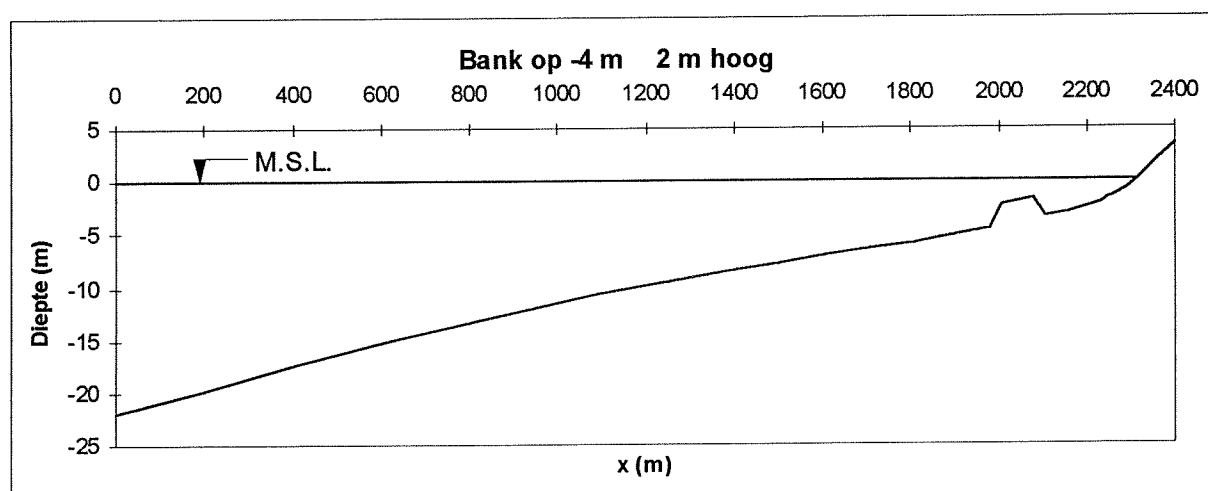


Fig. 4.1 Profiel met suppletie op -4 m

volume	$196 \text{ m}^3 / \text{m}'$
lengte	126 m
hoogte	2 m

Tabel 4.1 Kenmerken suppletie

Dit profiel heeft eerst gedurende 1 week onder invloed gestaan van een golfveld met een H_{rms} van 1 m. Het profiel dat hierna is ontstaan is gebruikt voor de simulaties. Dit is gedaan om eventuele pieken die voorkomen bij een initieel kunstmatig profiel te verminderen.

UNIBEST-TC maakt gebruik van golfvelden die beschreven worden door de H_{rms} . Deze is als volgt gedefinieerd:

$$H_{rms} = \sqrt{\frac{\sum H_i^2}{n}}$$

waarin:

H_i = de i^{de} golfhoogte in het golfveld

n = het aantal golven in het golfveld

H_{rms} is een maat voor de gemiddelde golfenergie. Om een onregelmatig golfveld te reproduceren als golfveld met 1 golfhoogte, moet de H_{rms} als golfhoogte worden aangehouden voor dit golfveld. Zo heeft het regelmatige golfveld dezelfde energie per eenheid van oppervlakte als het onregelmatige golfveld. De periode die bij deze golven wordt genomen is de piekperiode. Dit is de periode waarbij het energiedichtheidsspectrum zijn maximum heeft, zie figuur 4.2.

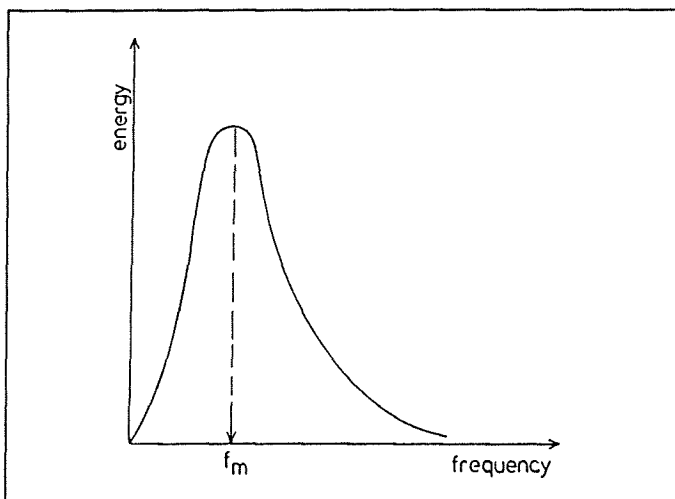


Fig. 4.2 Piekperiode

Er is gekeken naar de initiële stromingsverschillen bij golfvelden met een H_{rms} van respectievelijk 1, 2, 3 en 4 m. Daarbij zijn piekperiodes T_p genomen van respectievelijk 6, 7, 8 en 9 seconden, zie tabel 4.2.

H_{rms} (m)	T_p (s)
1	6
2	7
3	8
4	9

Tabel 4.2 H_{rms} en T_p

Voor een overzicht van de gebruikte sediment- en golfparameters wordt verwezen naar bijlagen 2 en 3.

4.2 Resultaten simulaties

In deze paragraaf zal voor het profiel met de suppletie van 2 m hoog op 4 m onder gemiddeld zeeniveau de invloed van de suppletie op de verschillende stromingsverschijnselen besproken worden. Dit wordt gedaan aan de hand van uitkomsten van simulaties met UNIBEST. Voor de resultaten van alle simulaties met alle profielen wordt verwezen naar bijlage 4.

4.2.1 Dwarstransport

Er zal m.b.v. simulaties met UNIBEST-TC (oude versie) gekeken worden naar de orbitaalbeweging, de retourstroom en de golf asymmetrie omdat deze in grote mate bepalend zijn voor het dwarstransport.

4.2.1.1 Orbitaalbeweging

Bij sedimenttransport onder golven en stroming kunnen twee processen onderscheiden worden:

- het opwoelen van zand, dit gebeurt voornamelijk door de golven
- het transporteren van zand, dit gebeurt voornamelijk door de stroming.

De oscillerende beweging van het water onder de golven is voornamelijk de oorzaak van het opwoelen van zand. Ook is het niet symmetrisch zijn van de orbitaalbeweging (niet-lineariteit) belangrijk voor de stroming richting de kust en de daarmee gepaard gaande retourstroom.

Er wordt per golfhoogte H_{rms} aangegeven wat de orbitaalsnelheden (U_{rms}) zijn. In de figuren 4.3 - 4.6 is telkens ter vergelijking de grafiek van het basisprofiel (dus zonder suppletie) bijgevoegd, weergegeven door een dunne lijn. Ook is de plaats van de suppletie aangegeven.

De pieken en verticale lijnen die ontstaan rond de waterlijn zijn gevolg van het afkappen van de berekeningen na een minimumdiepte, zie hoofdstuk 5.

De grafieken van alle profielen staan in bijlage 4.

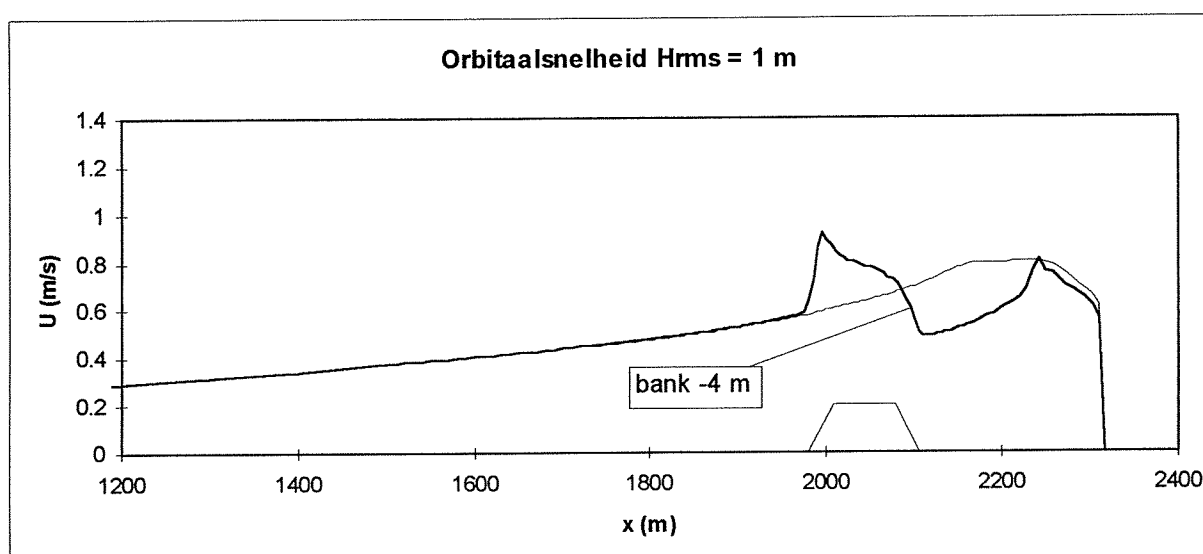
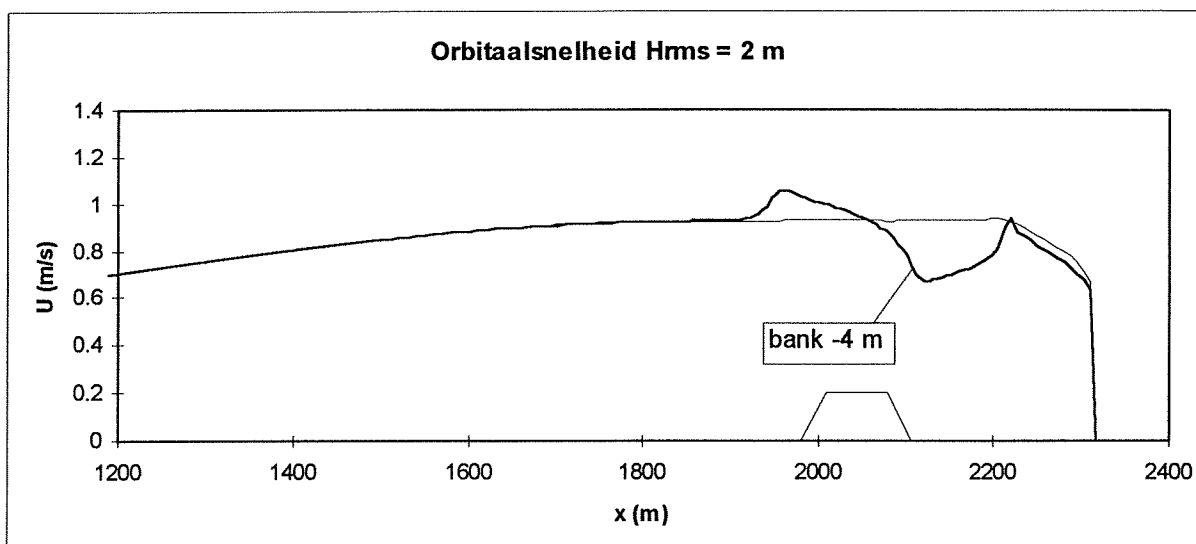
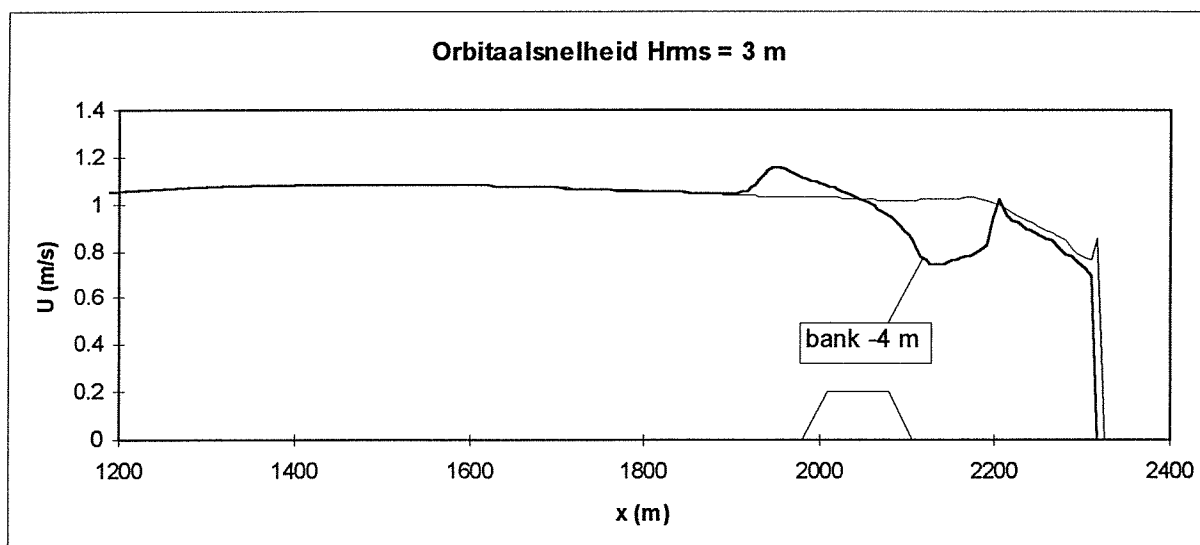
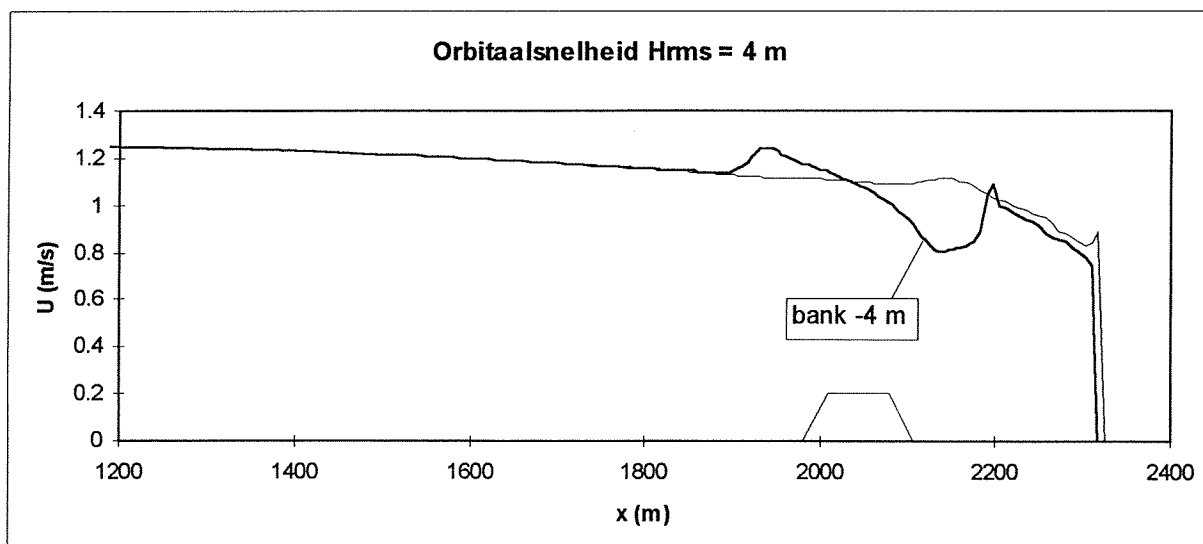


Fig. 4.3 Orbitaalsnelheid U_{rms} bij $H_{rms} = 1\text{ m}$

In de figuren 4.4 - 4.6 is te zien dat door de formuleringen in UNIBEST-TC de invloed van de suppletie op de orbitaalsnelheden al merkbaar is in aan de zeezijde van de suppletie.

Fig. 4.4 Orbitaalsnelheid U_{rms} bij $H_{rms} = 2$ mFig. 4.5 Orbitaalsnelheid U_{rms} bij $H_{rms} = 3$ mFig. 4.6 Orbitaalsnelheid U_{rms} bij $H_{rms} = 4$ m

Er is duidelijk te zien dat er bij alle golfhoogtes op de suppletie een verhoging en aan landzijde een daling van de orbitaalsnelheden optreedt. Dit komt doordat de orbitaalsnelheid wordt bepaald door de verhouding tussen de waterdiepte en de golflengte (h/L).

Wat ook opvalt is dat de orbitaalsnelheden niet veel toenemen bij grotere golfhoogtes. Wel is er over een groter deel een hogere snelheid aanwezig.

Zoals gezegd zorgt de orbitaalbeweging voor opwoeling van zand. Bij hogere snelheden valt dus meer transport te verwachten en vice versa. Dit transport kan zeewaarts zijn, maar door de asymmetrie van de orbitaalbeweging leidt dit ook tot landwaarts transport. Aan de hand van de grafieken van de orbitaalbeweging kan dus verwacht worden dat er op de suppletie meer transport en aan de landzijde minder transport optreedt dan bij het basisprofiel.

4.2.1.2 Retourstroom

Zoals beschreven in hoofdstuk 3 ontstaat er bij golven die op een hellende kust invallen een retourstroom die in zeewaartse richting over de bodem beweegt. Deze stroming is voor een groot deel verantwoordelijk voor het zand dat richting zee wordt getransporteerd.

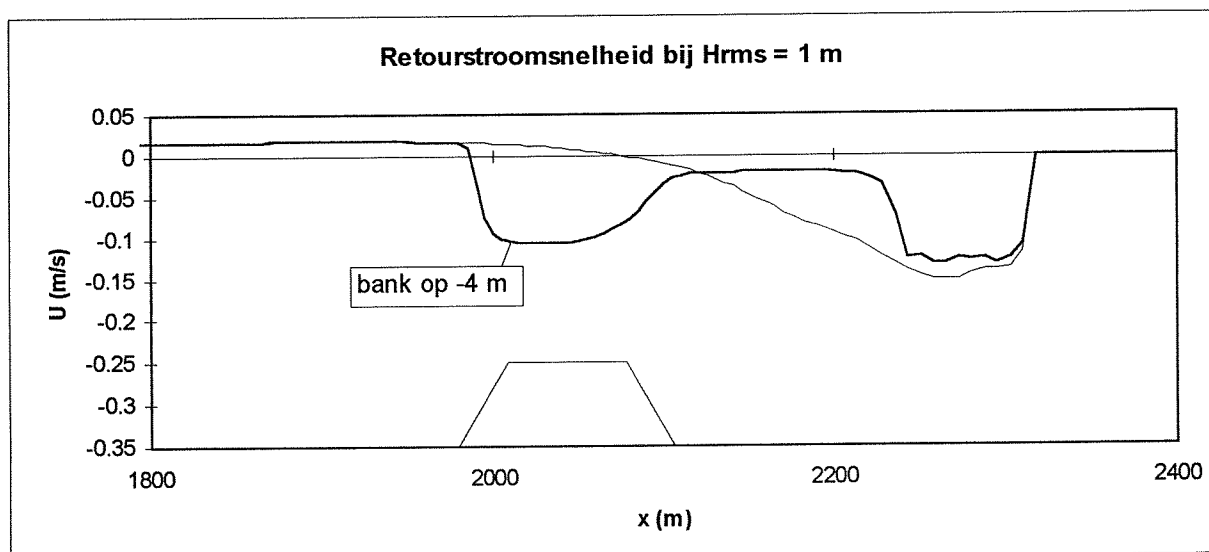


Fig. 4.7 *Retourstroomsnelheid bij $H_{rms} = 1$ m*

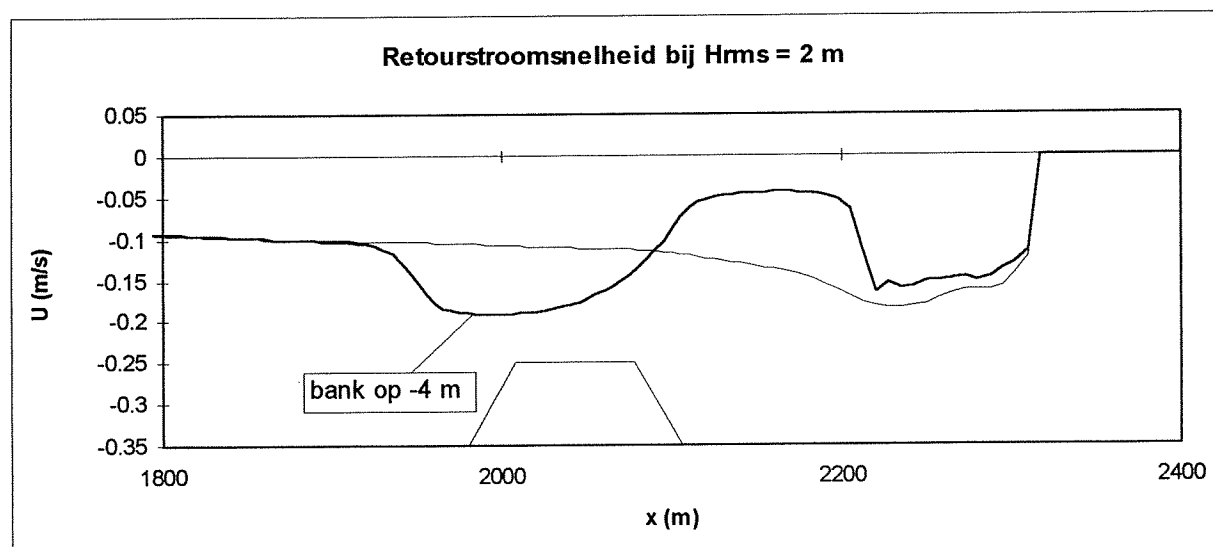
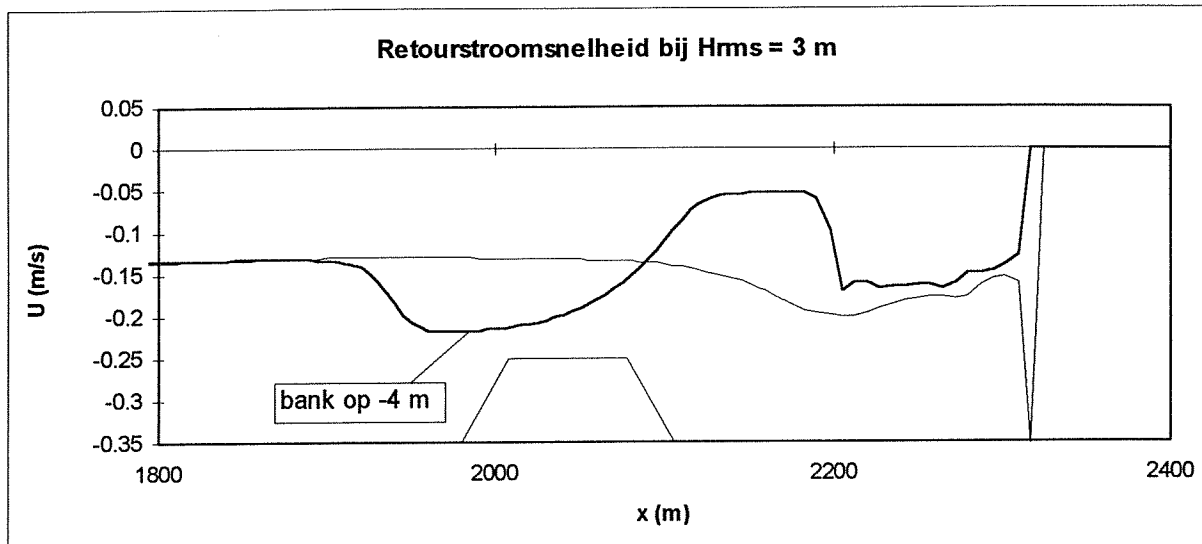
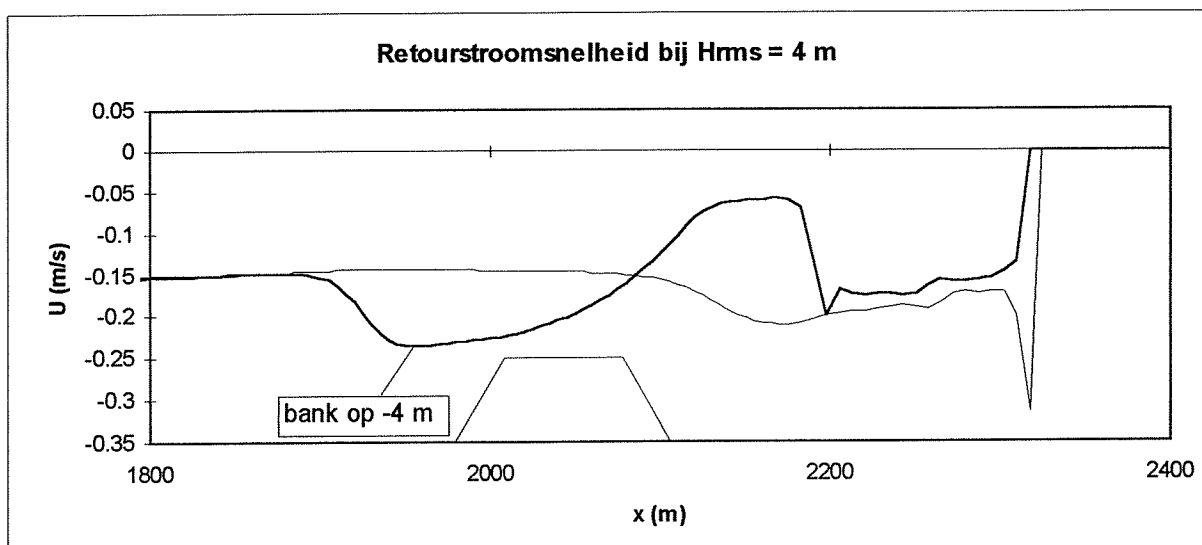


Fig. 4.8 *Retourstroomsnelheid bij $H_{rms} = 2$ m*

Fig. 4.9 Retourstroomsnelheid bij $H_{rms} = 3 \text{ m}$ Fig. 4.10 Retourstroomsnelheid bij $H_{rms} = 4 \text{ m}$

De grafieken van alle profielen staan in bijlage 4.

In de figuren 4.7 - 4.10 betekent een negatieve snelheid een zeewaarts gerichte stroming.

Bij iedere figuur is een toename van de retourstroom bovenop de suppletie waar te nemen en aan landzijde van de suppletie een daling. Dit is te verklaren doordat de inkomende golven eerder breken op de suppletie (grote wave set-up) waardoor er direct achter de suppletie minder golven breken (kleinere wave set-up, tot het punt waar de diepte boven de suppletie weer bereikt wordt).

Deze toe- en afname van de retourstroom loopt gelijk met die van de orbitaalbeweging en deze zullen elkaar dus versterken; op de suppletie zal (zeewaarts) transport toenemen, aan landzijde zal het transport afnemen.

De positieve (kustwaarts gerichte) stroom bij de bodem die optreedt aan zeezijde van de suppletie bij $H_{rms} = 1 \text{ m}$ is het gevolg van de streaming zoals beschreven in hoofdstuk 3. Doordat de zeewaarts gerichte retourstroom die gevolg is van het breken van golven in dit gedeelte niet ontstaat omdat er geen golven breken, resulteert een netto kustwaartse stroom.

4.2.1.3 Golfasymmetrie

Een belangrijke oorzaak voor het transport van zand is de golfasymmetrie die een netto kustwaarts transport tot gevolg heeft, zie figuren 4.11 - 4.14.

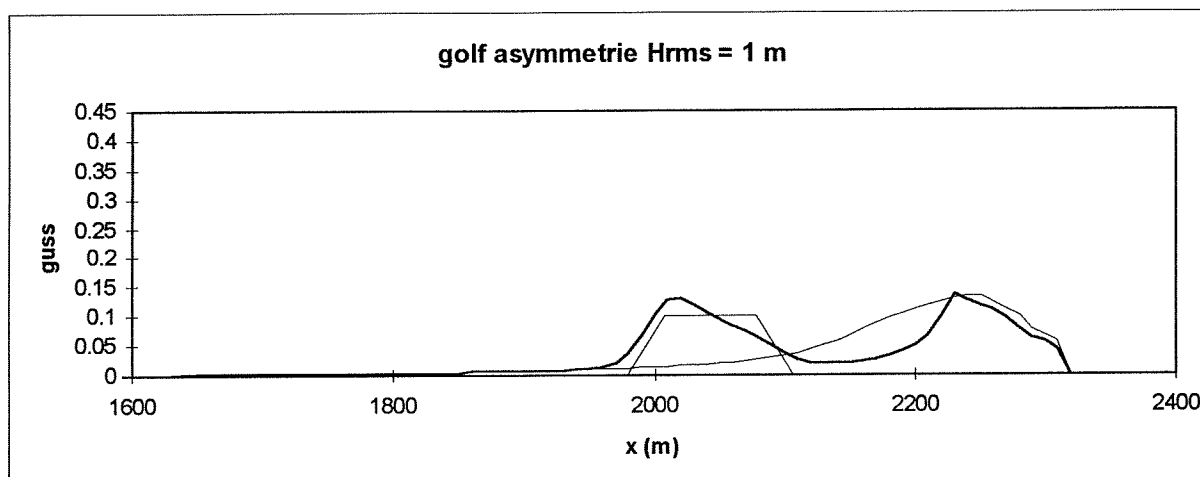


Fig. 4.11 Golfasymmetrie bij $H_{rms} = 1\text{ m}$

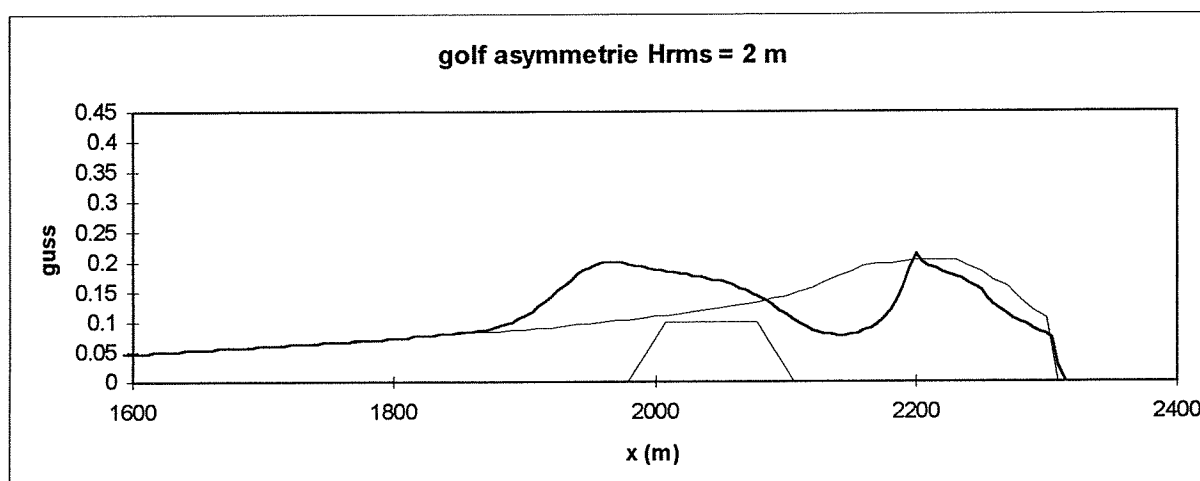


Fig. 4.12 Golfasymmetrie bij $H_{rms} = 2\text{ m}$

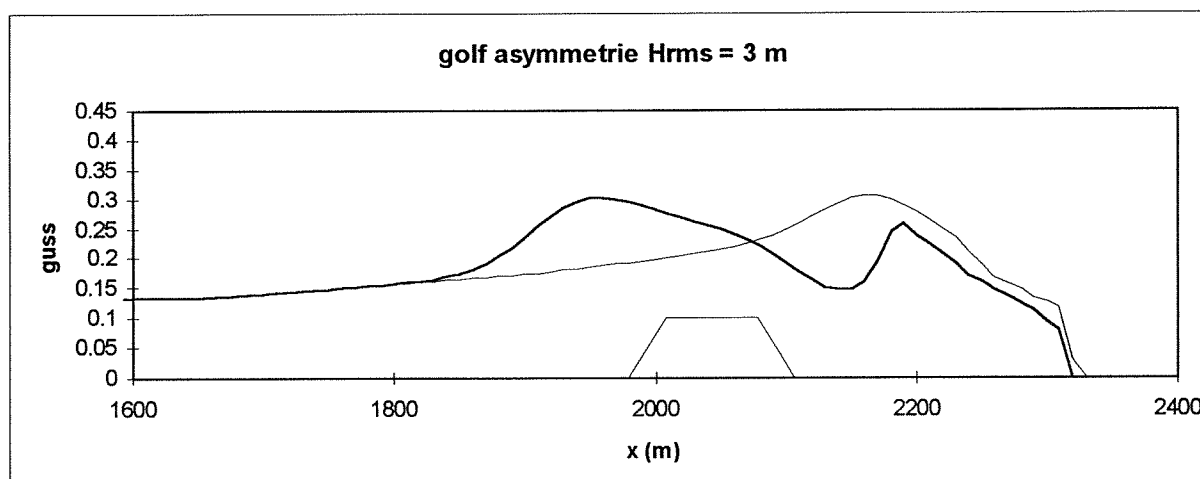


Fig. 4.13 Golfasymmetrie bij $H_{rms} = 3\text{ m}$

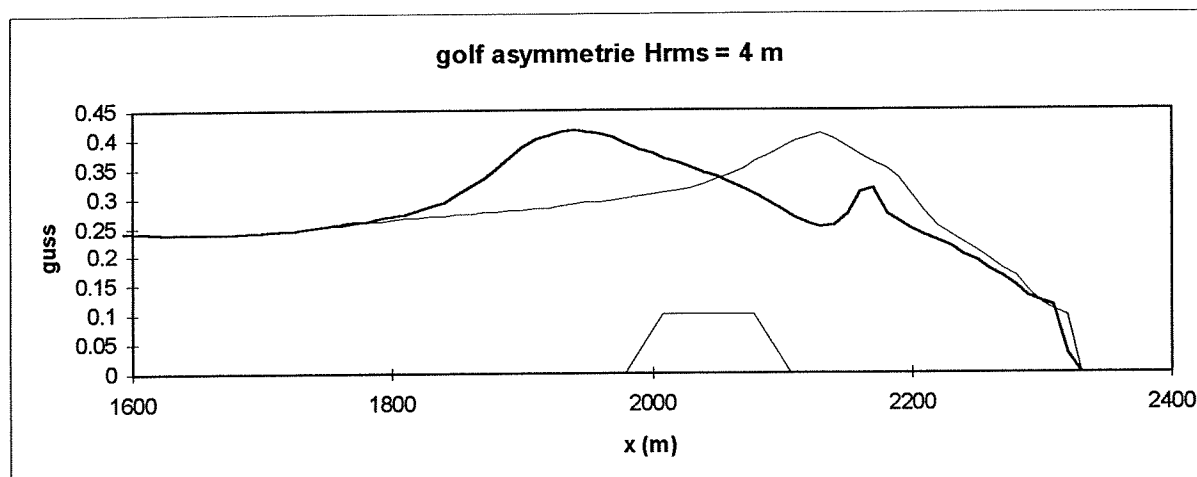


Fig. 4.14 Golfasymmetrie bij $H_{rms} = 4$ m

Er is telkens goed te zien dat er een verhoging op en voor de suppletie ontstaat. Deze verhoging is voor het grootste deel verantwoordelijk voor het kustwaarts transport van zand van de suppletie. De asymmetrie neemt toe naarmate de golfhoogte groter wordt.

4.2.2 Langtransport

Voor het langtransport wordt gekeken naar het verloop van de golf(schuif)spanning omdat de verandering in golfspanning de belangrijkste kracht voor de aandrijving van de langsstroming is.

De resultaten van de verandering van de orbitaalsnelheid uit 4.2.1.1 spelen ook een rol in het langtransport aangezien de hoeveelheid zand die door de langsstroom wordt meegenomen afhankelijk is van de zandconcentratie in het water.

Simulaties met UNIBEST-LT geven de volgende resultaten, zie figuren 4.15 - 4.18.

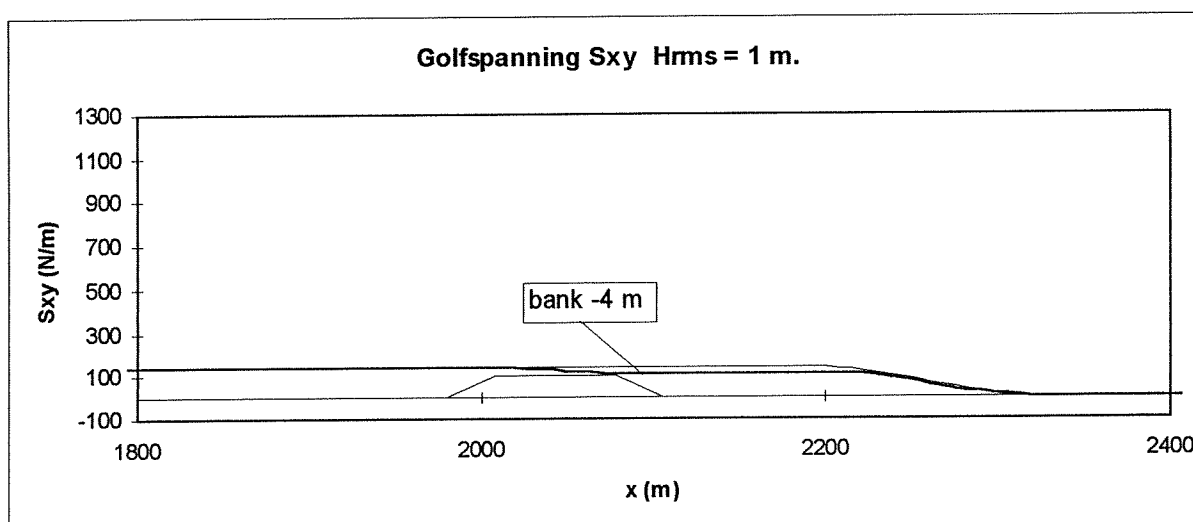
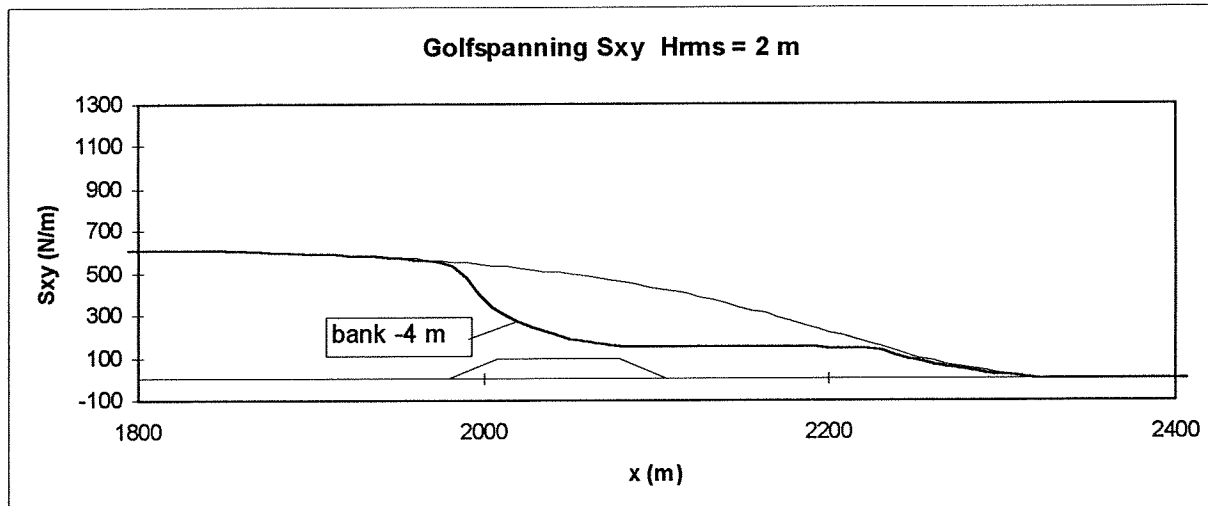
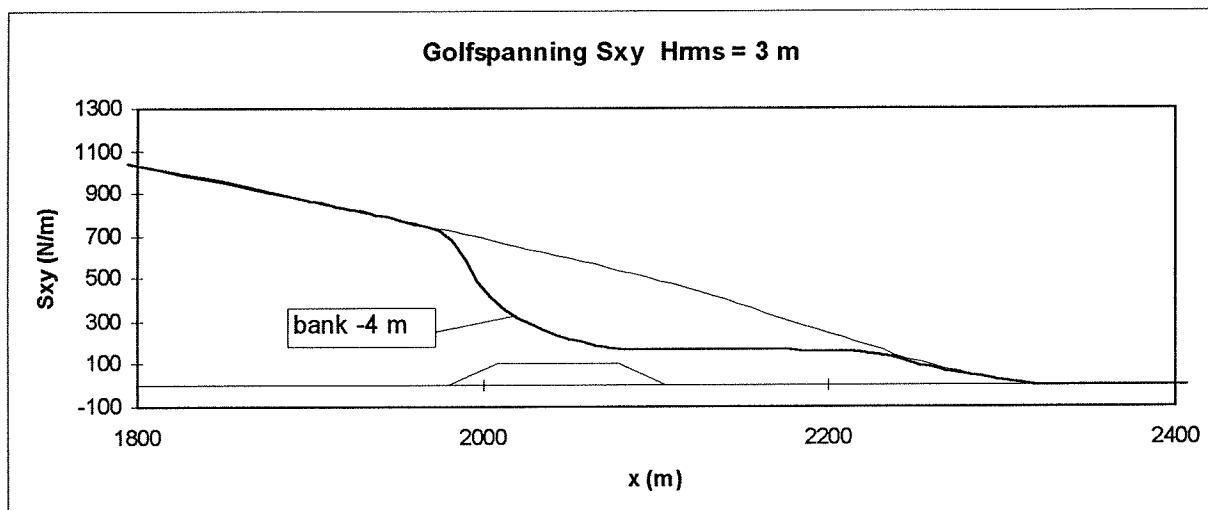
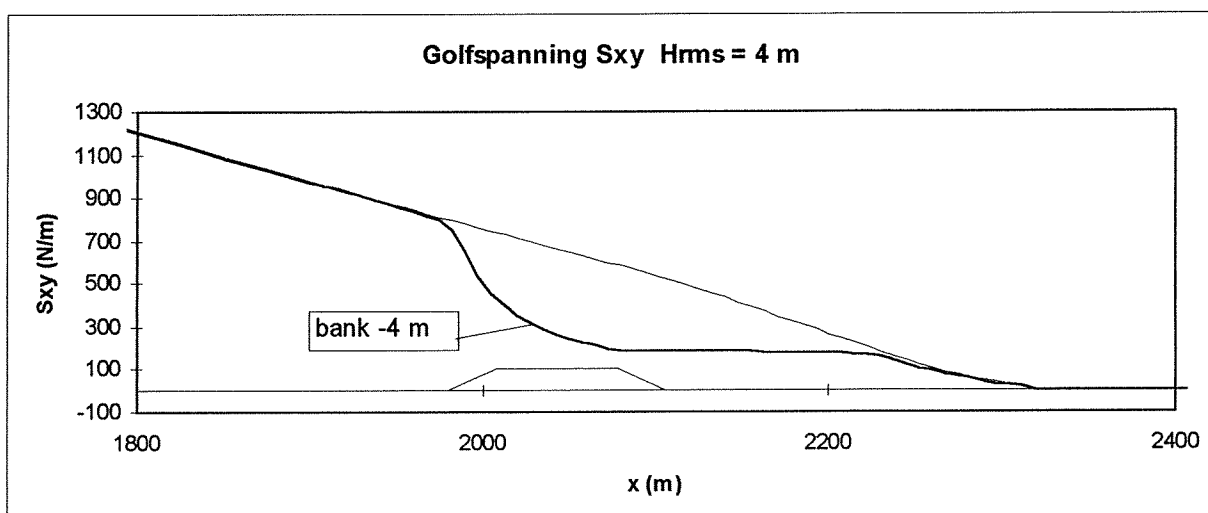


Fig. 4.15 Golfspanning S_{xy} bij $H_{rms} = 1$ m

Fig. 4.16 *Golfspanning S_{xy} bij $H_{rms} = 2$ m*Fig. 4.17 *Golfspanning S_{xy} bij $H_{rms} = 3$ m*Fig. 4.18 *Golfspanning S_{xy} bij $H_{rms} = 4$ m*

Bij golfhoogtes vanaf $H_{rms} = 2$ m is duidelijk te zien dat de golfspanning op de suppletie sterk daalt en aan landzijde over een bepaalde lengte niet verandert. Nu is het juist de gradiënt van de golfspanning die de langsstroom doet ontstaan, dus er zal op de suppletie een sterkere

stroom ontstaan. Achter de suppletie waar de lijn (bijna) horizontaal loopt zal een veel kleinere langsstroom te zien zijn.

Het verloop van de golfspanning is te verklaren doordat de golfspanning afneemt waar de golven breken (op de suppletie) en dus min of meer gelijk blijft waar er bijna geen golven breken (aan de landzijde van de suppletie).

4.2.3 Getij

De getijstroom is ook voor een deel verantwoordelijk voor het zandtransport langs de kust. De invloed van een suppletie op de getijstroom is verschillend van de invloed op langsstroming opgewekt door de golfspanning. Een groot verschil is ook de periodiciteit van het getij. Voor de volledigheid wordt daarom een korte beschrijving van de verandering van de getijstroom gegeven.

In de figuren zijn de resultaten van de berekening van de langsstroom (in m/s) met UNIBEST-LT bij het suppletieprofiel en het basisprofiel gegeven voor een situatie waarin alleen getij voorkomt van 0.5 m/s op een diepte van 5 m (zonder golven). Ook is voor een situatie met hetzelfde getij plus een H_{rms} van 1.5 m, een T_p van 6.5 seconden en een invalshoek $\alpha = 30^\circ$ het verloop van de langsstroom gegeven, zie figuren 4.19 en 4.20.

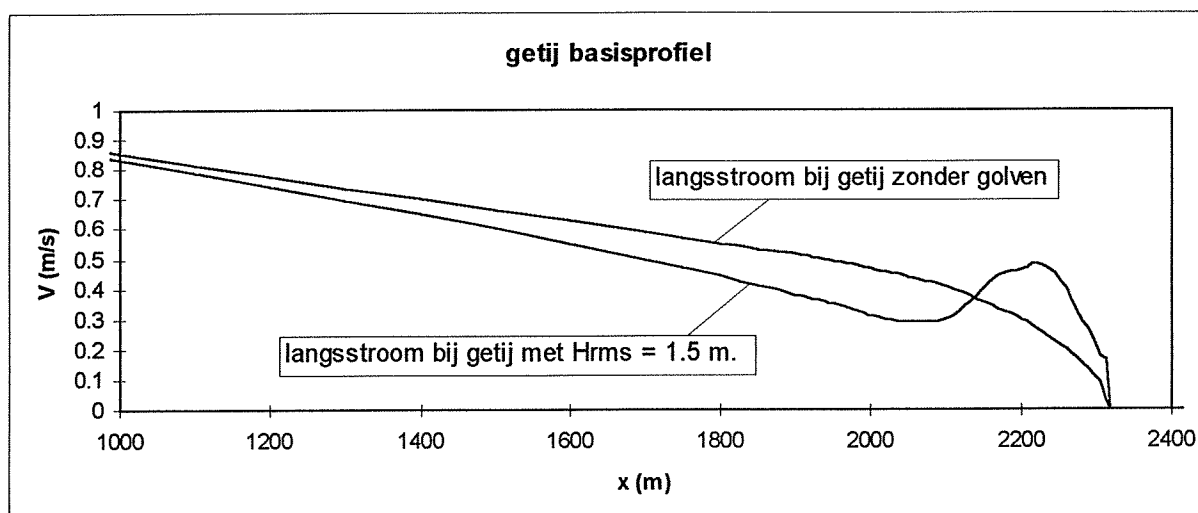


Fig. 4.19 Langsstroom met getij bij basisprofiel

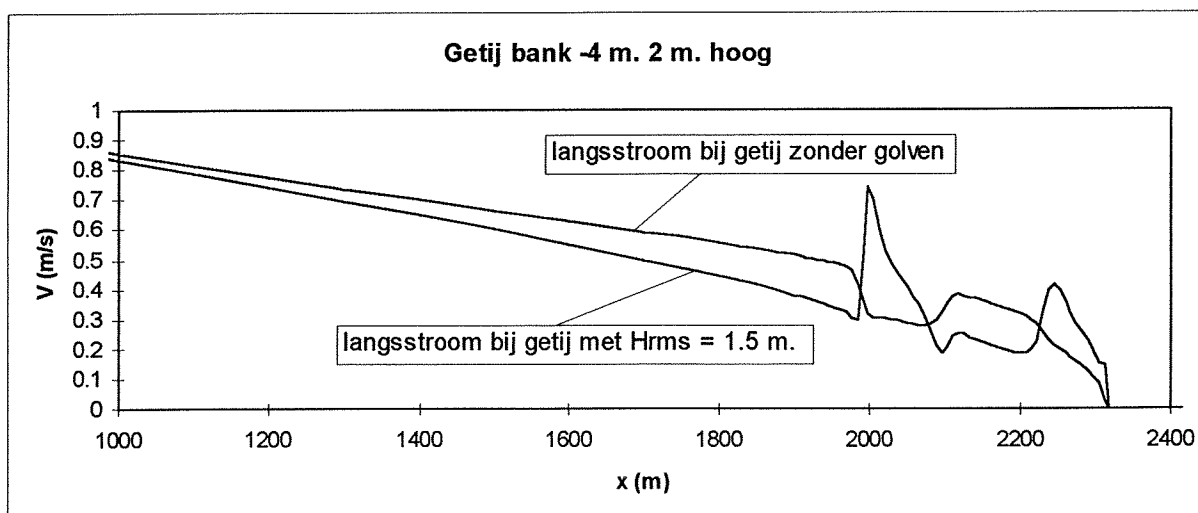


Fig. 4.20 Langsstroom met getij bij bank op -4 m

Voor de situatie met alleen getij is duidelijk te zien dat er een vermindering van de stroming optreedt boven op de suppletie. Dit komt doordat de snelheid van de getijstroom bij beschrijving volgens de formule van Chézy: $V = C\sqrt{hi}$ slechts afhankelijk is van de waterdiepte h (uitgaande van een helling i langs de kust die constant is loodrecht op de kust). De langsstroom bij aanwezigheid van getij en golven heeft een duidelijk ander verloop. De stroomsnelheid neemt juist toe op de suppletie en vertoont een afname aan de landzijde. Dit is in overeenstemming met het op basis van de golfspanning te verwachten stromingsbeeld. Bij de suppleties op -6 en -8 m blijft echter hetzelfde beeld herkenbaar: daling van de langsstroomsnelheid op de suppletie. Dit komt doordat de golven niet breken op deze banken. Ook is te zien dat de stroming bij aanwezigheid van golven in het gebied voordat de golven breken lager is dan bij afwezigheid van golven. Dit komt doordat bij de aanwezigheid van golven de bodemwrijving op de stroming toeneemt.

4.3 Vergelijking UNIBEST-TC versies

De hier uitgevoerde simulaties voor het dwarstransport (paragraaf 4.2.1) zijn gemaakt met de oude versie van UNIBEST-TC. In de nieuwe versie van UNIBEST-TC is een aantal fysische aanpassingen gedaan ten opzichte van de oude versie. De twee belangrijkste veranderingen die zijn ingevoerd in de nieuwe versie zijn de energiedissipatie door zogenaamde rollers en de nieuwe sedimenttransport vergelijkingen (zie hoofdstuk 3). Hier wordt beschreven wat de invloed van deze veranderingen is op de onderzochte verschijnselen van paragraaf 4.2.1.

4.3.1 Orbitaalsnelheid

Figuur 4.21 toont de orbitaalsnelheden bij een golfhoogte van 1 m berekend met beide versies.

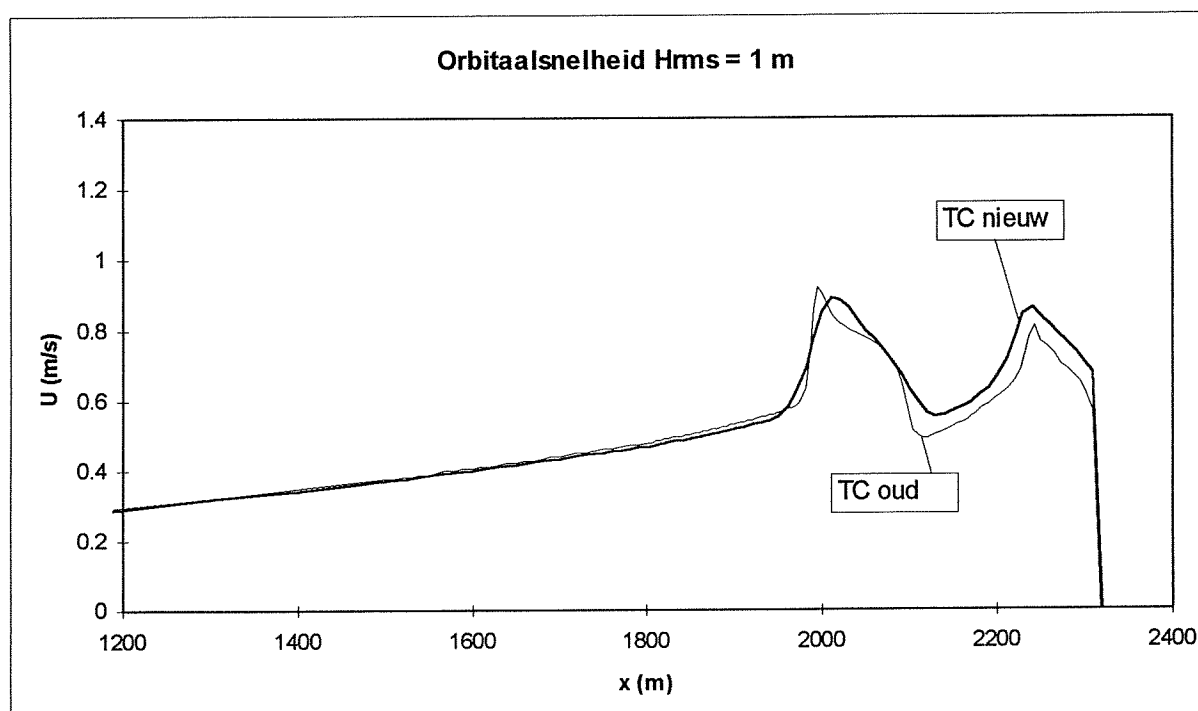


Fig. 4.21 Orbitaalsnelheden bij suppletie op -4 m, $H_{rms} = 1$ m

De figuur laat vrijwel geen verschil zien: beide versies tonen een piek op de suppletie en een sterke daling aan landzijde van de suppletie. De opwoelende werking van de golven in beide versies komt dus grotendeels overeen.

4.3.2 Dwarstransport

De oude versie van UNIBEST-TC kent een probleem bij het berekenen van het dwarstransport. Als golven onder een hoek op de kust aankomen slaat het zeewaarts transport op de suppletie om in landwaarts transport, zie figuur 4.22.

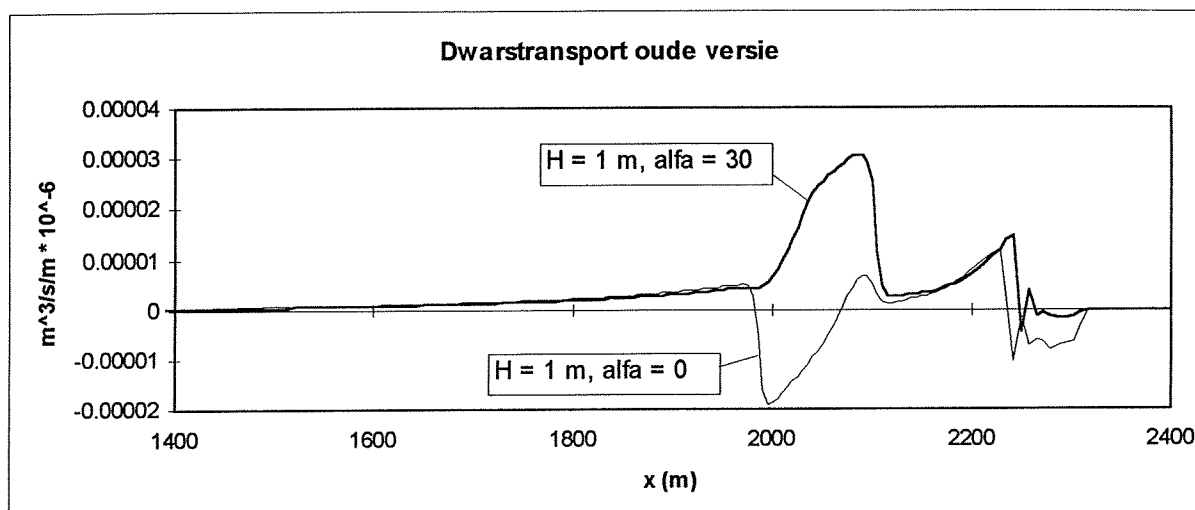


Fig. 4.22 Omslag dwarstransport

Dit is het gevolg van de gebruikte Bailard vergelijkingen met een directe koppeling tussen de snelheid en het sedimenttransport.

In de nieuwe versie is een andere formulering voor het dwarstransport gebruikt waarbij deze koppeling er in het geheel niet is. Resultaat hiervan is dat de hoek waaronder de golven aankomen nauwelijks invloed heeft op het dwarstransport, zie figuur 4.23.

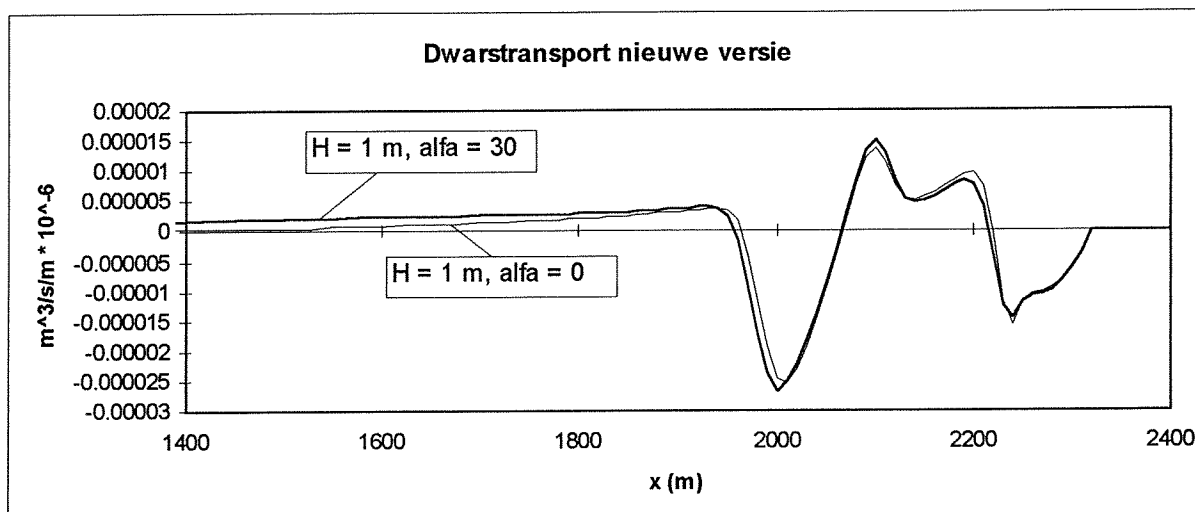


Fig. 4.23 Dwarstransport in de nieuwe versie

Deze verschillen in dwarstransport zijn kleiner dan de verschillen die bij proeven gevonden worden. Er zou een tussenweg moeten worden gevonden om het dwarstransport realistischer te maken.

De formuleringen in de nieuwe versie geven wel een sterk verbeterd resultaat als de profielen na de inwerking van een golfveld gedurende 1 jaar worden vergeleken. Een groot probleem met de oude versie, als gevolg van de beschreven omslag in het dwarstransport, is een onrealistische aanzanding nabij de kust. Ook is de initiële suppletie in het geheel niet meer waar te nemen. De nieuwe versie vertoont een beeld dat beter met de werkelijkheid overeenkomt, zie figuur 4.24.

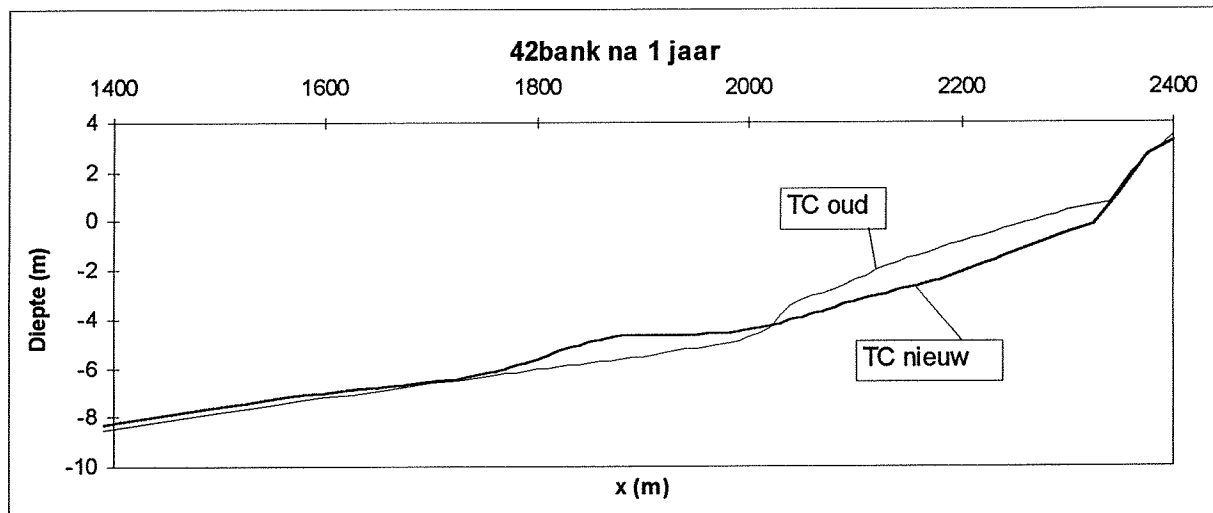


Fig. 4.24 Suppletie van 2 m op -4 m na 1 jaar

5. Zandtransporten bij een suppletie

Om te bepalen wat de invloed is van een vooroeversuppletie op de sedimenttransporten zal een vergelijking gemaakt worden tussen (volumes van) de transporten die optreden bij het basisprofiel en bij de profielen met een suppletie. Er zal getracht worden een verband te vinden tussen bepaalde parameters (van de profielen) en de gevonden zandtransporten. In paragraaf 5.1 wordt de invoer van UNIBEST besproken, in 5.2 de resultaten.

5.1 Ingevoerde gegevens

Er zal gekeken worden naar de gemiddelde zandtransporten zoals die optreden ten gevolge van een variërend golfveld dat gedurende één jaar voorkomt. Er is gebruik gemaakt van twee verschillende golfvelden.

Voor het dwarstransport is een golfklimaat gebruikt dat is verkregen uit metingen 7 km uit de kust bij Noordwijk, zie bijlage 3. Voor het langstransport is een golfveld gebruikt dat is gemeten bij Egmond, zie bijlage 3.

Er is een tweetal volumes beschouwd: als eerste de volume verandering in een vak dat wordt gebaseerd op de Basis KustLijn zone.

De BKL-zone is gedefinieerd als het gebied dat wordt begrensd door de horizontale lijn op een diepte, gemeten vanaf de duinvoet, die wordt verkregen door de afstand van de duinvoet tot de laagwaterlijn met twee te vermenigvuldigen. De duinvoet ligt op 3 m boven gemiddeld zeeniveau en de laagwaterlijn wordt hier op -0.5 m genomen. Dit levert een diepte voor de ondergrens van -4 m, zie figuur 5.1.

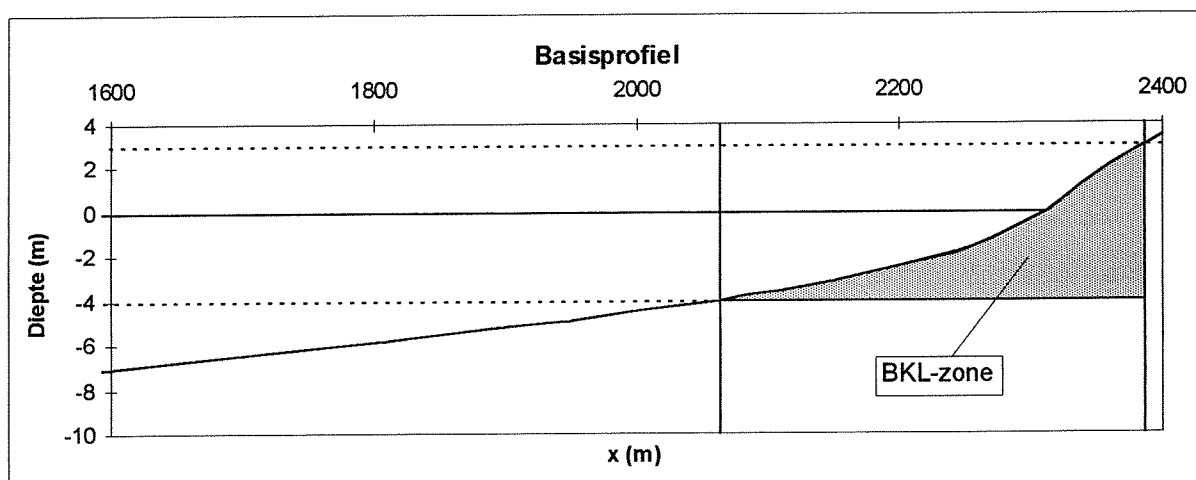


Fig. 5.1 Definitie BKL-zone

De BKL-zone is begrensd door de lijnen $x = 2064$ m, $x = 2386,7$ m en door de lijn $h = -4$ m. Volume veranderingen in dit gebied worden beschouwd als kustwinst of -verlies.

Nu zou volgens de definitie van de BKL-zone dit vak een stuk groter worden in het profiel met een suppletie op -4 m omdat het snijpunt met de lijn op diepte -4 m verder zeewaarts zou komen te liggen. Om de verschillende transportvolumes beter met elkaar te kunnen vergelijken is er voor gekozen om het vak dat gevormd wordt door de BKL-zone in het ongestoorde basisprofiel als vast controle vak aan te houden. Dit vak zal verder als BKL*-zone worden aangeduid. Zie figuur 5.2 voor de definitie van de BKL*-zone in het profiel met een suppletie op -4 m.

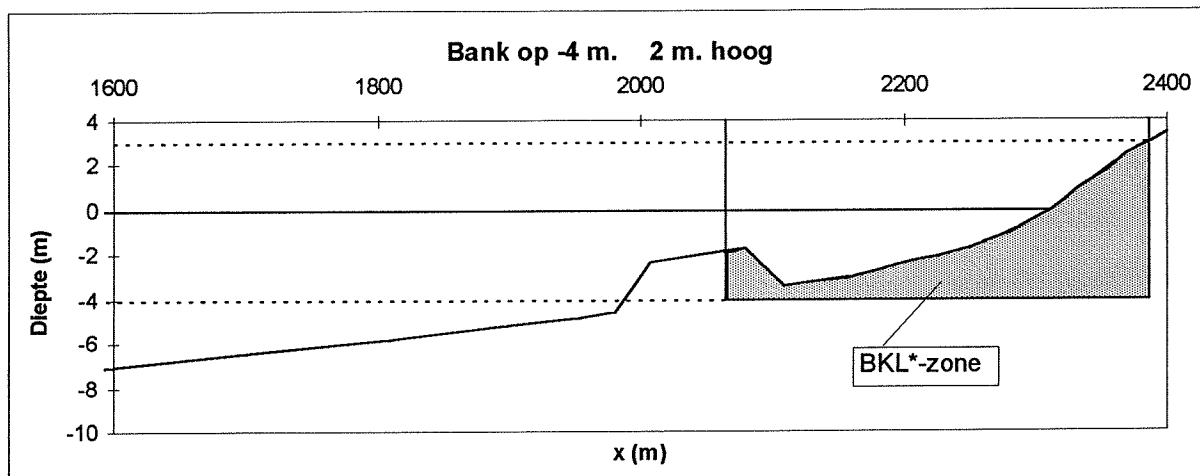


Fig. 5.2 BKL*-zone bij suppletie op -4 m

Het tweede volume dat wordt gebruikt bij de simulaties is het zandvolume dat zich bevindt aan de landzijde van de suppletie, van de suppletiegrens aan landzijde tot de duinvoet.

5.1.1 Dwarstransport (UNIBEST-TC)

UNIBEST-TC berekent per tijdstap de profielverandering. Deze profielverandering is alleen het gevolg van het dwarstransport omdat het langstransport niet wordt meegenomen in de berekening. Door het dwarstransport wordt er zand van de suppletie verplaatst richting zee en richting land.

Het transport in de beschouwde zones wordt bepaald door te kijken naar het verschil tussen het initiële zandvolume in dat gebied en het volume dat aanwezig is na simulatie met het golfveld van één jaar.

Door te kijken naar de verandering van het volume van de suppletie en de verandering in het gebied aan de landzijde van de suppletie kan een schatting gemaakt worden van het volume dat door dwarstransport van de suppletie richting het land en richting zee wordt verplaatst, zie figuur 5.3.

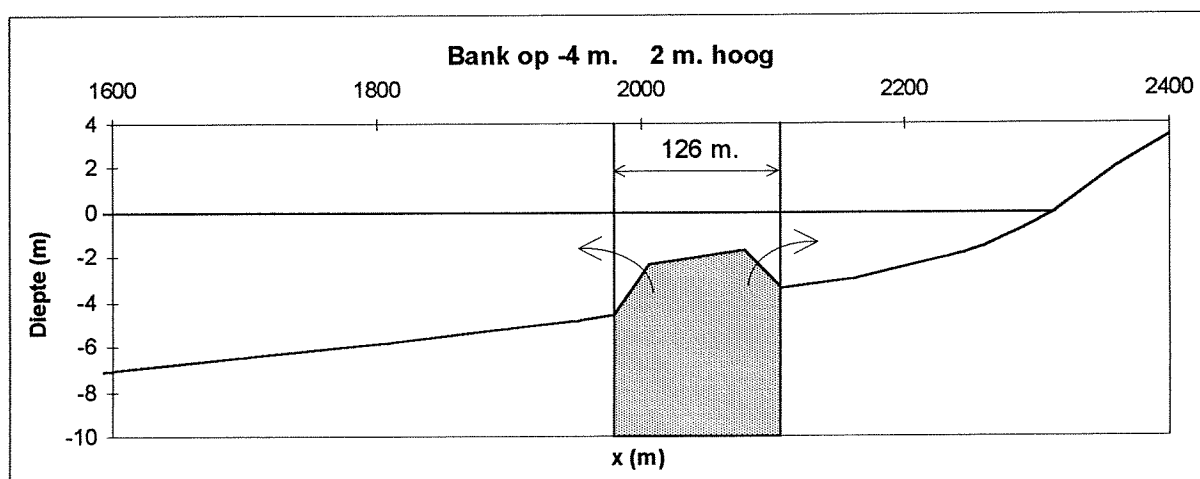


Fig. 5.3 Verspreiding van de suppletie

In UNIBEST-TC wordt slechts een dwarsdoorsnede van het profiel ingevoerd en niet de afstand langs de kust waarover de suppletie geplaatst wordt. De opgegeven volumes zijn steeds in m^3 per strekkende meter kust.

5.1.2 Langtransport (UNIBEST-LT)

Voor het langtransport wordt gebruik gemaakt van UNIBEST-LT. Ook bij het langtransport is gekeken naar de BKL*-zone en de gebieden op de suppletie en aan landzijde van de suppletie, zie figuur 5.4.

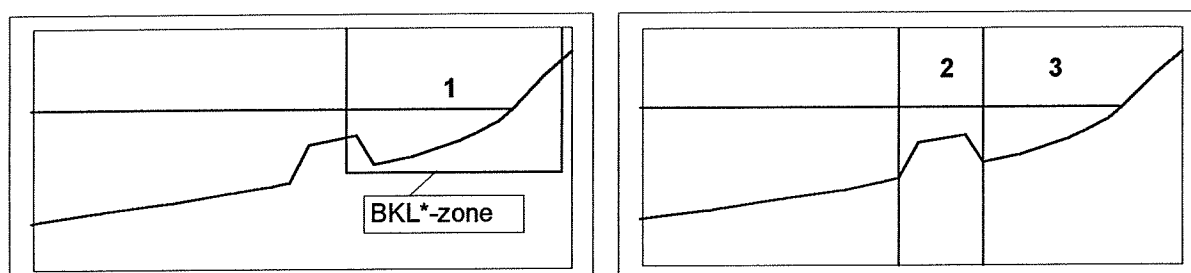


Fig. 5.4 Beschouwde gebieden voor het langtransport

Het totale jaarlijks langtransport loodrecht op de beschouwde profieldoorsnede in elk van de drie gebieden wordt beschouwd. Het gebruikte golfveld is anders dan bij het dwarstransport. De uitgerekende volumes zijn de totale volumes per strekkende meter kust.

In UNIBEST-LT kan een grens in het dwarsprofiel worden aangegeven tot waar het langtransport moet worden uitgerekend. Bij een opgegeven punt in het profiel wordt al het transport landwaarts van dit punt uitgerekend. Zo kan eenvoudig het transport in de BKL*-zone berekend worden.

Voor de transporten op de suppleties is als volgt te werk gegaan: als eerste zijn de transporten in de gebieden van de zeezijde begrenzing van de suppleties tot aan het land berekend. Daarna zijn de transporten van de landgrens van de suppleties tot de kustlijn berekend. Door deze van elkaar af te trekken wordt het transport op de suppletie verkregen.

Om de berekeningen te scheiden in een deel dat door golven en een deel dat door getij wordt veroorzaakt zijn na berekening van alle transporten de berekeningen nogmaals uitgevoerd met hetzelfde golfveld waaruit het getij is weggelaten. Dit is dus het deel dat alleen door golven wordt veroorzaakt. Door dit af te trekken van de transporten bij het complete golfveld worden de transporten veroorzaakt door het getij verkregen.

Bij het langtransport in UNIBEST-LT wordt een oneindig lange uniforme kust verondersteld. De transportvolumes tussen het basisprofiel en de suppletieprofielen gelden dus voor de situatie waar de stroming zich volledig heeft aangepast aan het aanwezige profiel. Bij de overgang tussen beide profielen zullen er verschijnselen optreden die de stroming ter plaatse zullen beïnvloeden. Hierop wordt in hoofdstuk 6 ingegaan.

Bij alle jaarlijkse langtransporten moet opgemerkt worden dat UNIBEST-LT geen profielveranderingen berekent. Dit heeft tot gevolg dat de transporten op de suppleties hoger zijn dan in werkelijkheid omdat de suppletie in de berekeningen zijn initiële afmetingen behoudt. Bij een kleiner wordende suppletie zouden de transporten in het suppletie gebied afnemen. Het omgekeerde geldt voor het deel aan landzijde van de suppletie.

5.2 Resultaten simulaties

5.2.1 Dwarstransport

Zoals beschreven in voorgaande hoofdstukken zal een profiel waarop een golfveld inwerkt veranderen door verplaatsing van sediment onder invloed van stroming en golven. Dit deel van het onderzoek is er op gericht inzicht te verkrijgen in de mate waarin het dwarstransport invloed heeft op de aanzanding of erosie van de kust (BKL*-zone). Hiertoe worden de resultaten van de volume veranderingen in het profiel met een suppletie vergeleken met de veranderingen van het basisprofiel. Om een indruk te geven van de verschillende profielen die worden verkregen na één jaar simuleren worden hier beide profielen getoond in figuur 5.5.

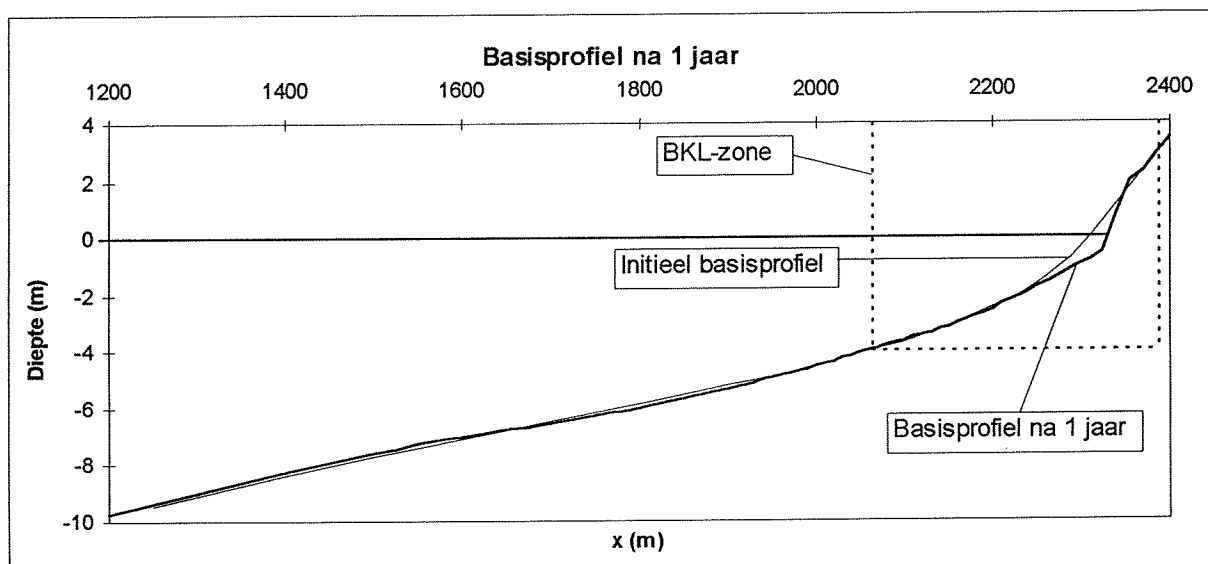


Fig 5.5a Basisprofiel na 1 jaar

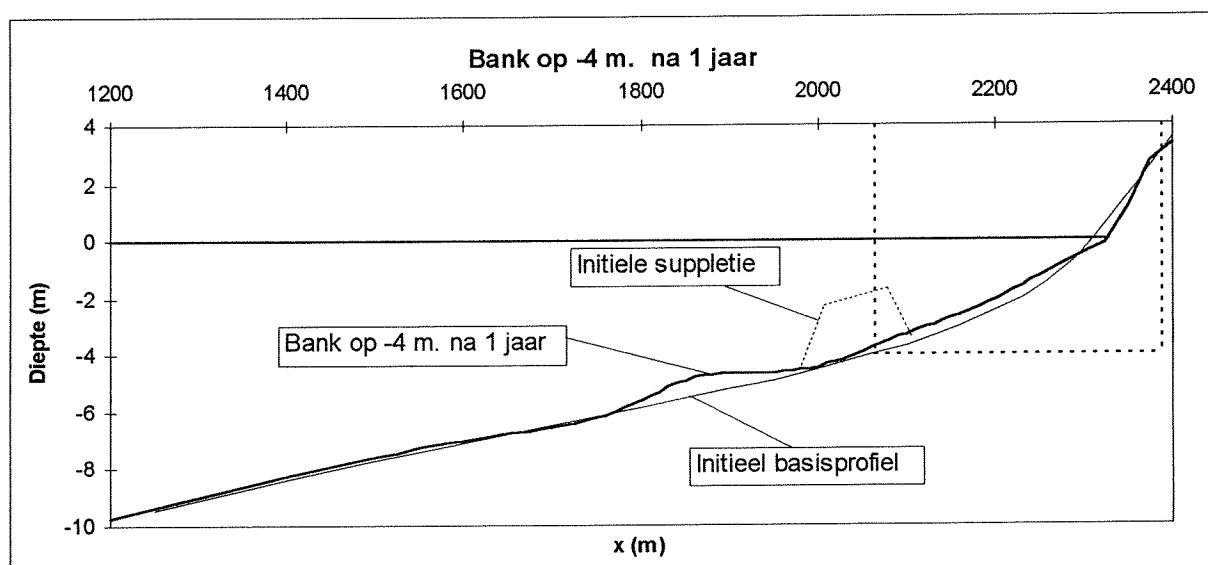


Fig 5.5b Profiel met suppletie op -4 m na 1 jaar

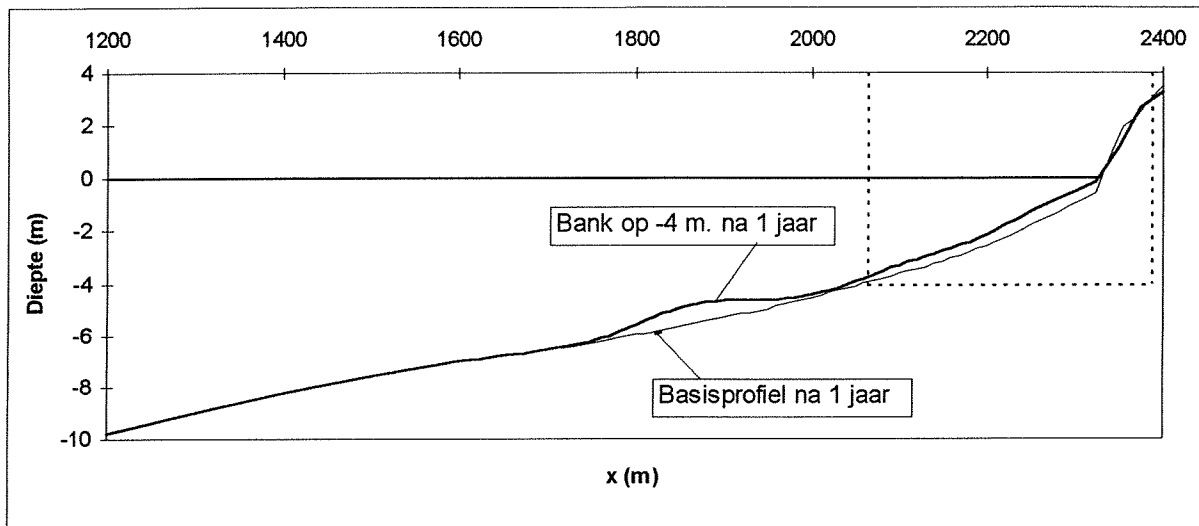


Fig 5.5c Vergelijking tussen beide profielen na 1 jaar

De knik die zich bevindt in het gedeelte rond de waterlijn ontstaat doordat de gebruikte vergelijkingen niet meer opgaan in zeer ondiep water. Als de diepte kleiner wordt dan een ingestelde minimum waarde dan stopt het programma met rekenen en wordt het laatste stuk lineair geïnterpoleerd. De diepte waarop dit gebeurt wordt als volgt gedefinieerd:

$$\text{minimum diepte} = g \left(\frac{2\pi}{\omega T_{\text{dry}}} \right)^2$$

waarin T_{dry} wordt ingevoerd in het programma.

Fig. 5.5a: Het basisprofiel na een jaar geeft een duidelijke volumevermindering in de BKL*-zone te zien. Dit is als volgt te verklaren: het transport dat bestaat uit sediment dat wordt meegenomen met de retourstroom is groter dan het transport door de netto kustwaarts gerichte stroom die ontstaat door de golfasymmetrie en de kustwaarts gerichte stroming over de bodem die optreedt onder niet-brekende golven.

Fig. 5.5b: Bij het profiel met suppletie is duidelijk te zien dat de suppletie zich richting zee verplaatst en sterk in volume afneemt. Dit betekent dat er op de suppletie veel transport richting zee is. De combinatie van een sterke retourstroom en een hoge orbitaalsnelheid is hier de oorzaak van.

Op de suppletie neemt ook de golfasymmetrie sterk toe waardoor er meer transport naar de landzijde plaatsvindt.

In het gedeelte dat aan de landzijde van de suppletie ligt resulteert een kleinere retourstroom in combinatie met een lagere orbitaalsnelheid in een afname van zeewaarts sedimenttransport.

In de BKL*-zone loopt het profiel over een groot deel boven het initiële basisprofiel. Het volume in de BKL*-zone bij het profiel met suppletie na één jaar is groter dan het volume in het basisprofiel na één jaar.

Fig. 5.5c: Bij een vergelijking tussen de beide profielen na één jaar is duidelijk te zien dat het profiel met suppletie een substantieel groter volume in de BKL*-zone tot gevolg heeft.

In tabel 5.1 worden enkele volumes in de verschillende gebieden (BKL*-zone, op en aan landzijde van de suppletie) na simulatie van een jaar met elkaar vergeleken. Voor een overzicht van alle uitgerekende volumes wordt verwezen naar bijlage 5.

	1	2	3	4
<i>Suppleties op:</i>	Initieel volume verschil in BKL* -zone (m ³ /m')	Verschil na één jaar in BKL* -zone (m ³ /m')	Percentage van suppletie dat verplaatst wordt	Percentage van suppletie dat naar land verplaatst
-4 m, 2 m hoog	72.2	107.0	96	48
-4 m, 1.5 m hoog	56.7	87.9	84	36
-4 m, 1 m hoog	108.0	129.4	83	44
-6 m	0	34.8	99	21
-8 m	0	11.4	58	0

Tabel 5.1 *Vergelijking van volumes bij alleen dwarstransport*

Kolom 1:

Hier worden de initiële volume verschillen in de BKL*-zone tussen de profielen met en zonder suppletie aangegeven.

Kolom 2:

Hetzelfde gebeurt ook na een jaar. Het volume in de BKL*-zone na één jaar in het basisprofiel wordt afgetrokken van het volume na één jaar in de suppletieprofielen.

Kolom 3:

Dit is de hoeveelheid zand die van de suppletie verdwijnt en ergens anders in het profiel terecht komt. Het volume dat verplaatst wordt is uitgedrukt als percentage van het oorspronkelijke profiel.

Kolom 4:

Van het zand dat van de suppletie verdwijnt wordt een deel richting het land getransporteerd. Het verschil in volume in het gebied aan landzijde van de suppletie tussen het suppletie en het basisprofiel wordt gedeeld door het volume van de oorspronkelijke suppletie. Dit is het percentage van de suppletie dat door dwarstransport naar de kust wordt getransporteerd.

Toelichting tabel 5.1:

Als we kijken naar de drie suppleties op -4 m dan valt op dat er bij de suppletie van 1.5 m hoog zich het minste zand in de BKL*-zone bevindt. De suppletie van 1 m heeft het meeste effect.

Van de suppleties op -4 m wordt van de bank van 2 m hoog het meeste zand getransporteerd (96 %), deze bank is na een jaar vrijwel geheel verdwenen. Van de banken van 1.5 en 1 m wordt evenveel zand verplaatst (84%/83%), van de bank van 1.5 m wordt echter duidelijk minder naar de kust getransporteerd.

Het effect op het volume in de BKL*-zone door de suppleties op -6 en -8 m is veel kleiner dan bij de suppleties op -4 m. Hoewel bij de suppletie op -6 m bijna het gehele volume van de initiële suppletie wordt verspreid komt hiervan maar een relatief klein deel in de BKL*-zone terecht. Van de suppletie op -8 m ligt na een jaar nog wel een deel op zijn oorspronkelijke plaats maar van het getransporteerde deel komt maar zeer weinig in de BKL*-zone terecht.

De suppletie op -6 m heeft een kleiner kustwaarts transport tot gevolg, minder dan de helft van de suppletie van 2 m op -4 m.

De suppletie op -8 m heeft geen netto landwaarts transport. Wel was er een toename in de BKL*-zone te zien wat betekent dat er in het gedeelte tussen de BKL* grens en de suppletie grens er meer zeewaarts transport optreedt dan bij het basisprofiel.

Hieruit is te concluderen dat de suppletie op -8 m vooral de werking van een golfbreker heeft. Omdat de suppletie vrij diep ligt breken er alleen hoge golven op, dit betekent dat de golfbrekerwerking voornamelijk optreedt tijdens stormen. Deze stormen hebben normaal gesproken tot gevolg dat het profiel nabij de kust flauwer wordt, het zogenaamde winterprofiel.

Door de werking als golfbreker wordt dus het netto transport in het gebied aan landzijde van de suppletie dus niet beïnvloed, maar de verdeling na een jaar is anders.

Opmerkingen:

- Bij de berekening van deze volumes met UNIBEST-TC wordt alleen het dwarstransport meegenomen. In werkelijkheid treedt ook langstransport op door langsstroom en getij. Hierdoor zal de suppletie zich verspreiden en verplaatsen waardoor de suppletie ook in de richting langs de kust zal vervormen. De dwarstransporten zullen ook veranderen met deze mutaties, een lagere suppletie heeft bijvoorbeeld een lager retourstroom tot gevolg. De waarden in kolom 3 en 4 zullen in werkelijkheid waarschijnlijk anders verdeeld zijn.

- Het zand dat na één jaar in het gedeelte aan landzijde van de suppletie ligt is niet alleen het gevolg van transport van de suppletie richting kust. Door het aanbrengen van een suppletie neemt ook het zeewaarts transport aan de landzijde af. Dit komt echter per saldo op hetzelfde neer.

Conclusies

- Als alleen naar de BKL*-zone wordt gekeken blijkt dat de suppleties op -6 en -8 m veel minder volume toename tot gevolg hebben. De suppleties op -4 m hebben veel meer effect, al komt dit mede doordat er van de initiële suppleties al een deel in de BKL*-zone ligt.
- Hoe dicht de suppletie bij de kust ligt, hoe meer zand er door dwarstransport naar de kust wordt getransporteerd. De suppleties op -4 m hebben duidelijk het meeste effect.
- Van de suppleties op -4 m geeft de bank van 1.5 m het minste transport richting land.
- De hoogte / lengte verhouding heeft geen eenduidige relatie tot het zandtransport richting kust. De hoogste bank geeft het meeste transport richting kust en neemt ook het meeste af.
- De suppletie op de grootste diepte heeft slechts de werking van golfbreker en verzwakt het effect van stormen op het profiel

5.2.2 Langtransport

Nu wordt er gekeken naar de invloed van een suppletie op het langtransport. Dit zal gesplitst worden in langtransport door stroming die ontstaan is door de golven en transport door de getijstroom. In figuur 5.6 wordt ter illustratie het langtransport voor het profiel met een suppletie van 2 m hoog op 4 m diepte bij een golfhoogte $H_{rms} = 1$ en een invalshoek van 30° getoond. Het transport in het basisprofiel is ook aangegeven.

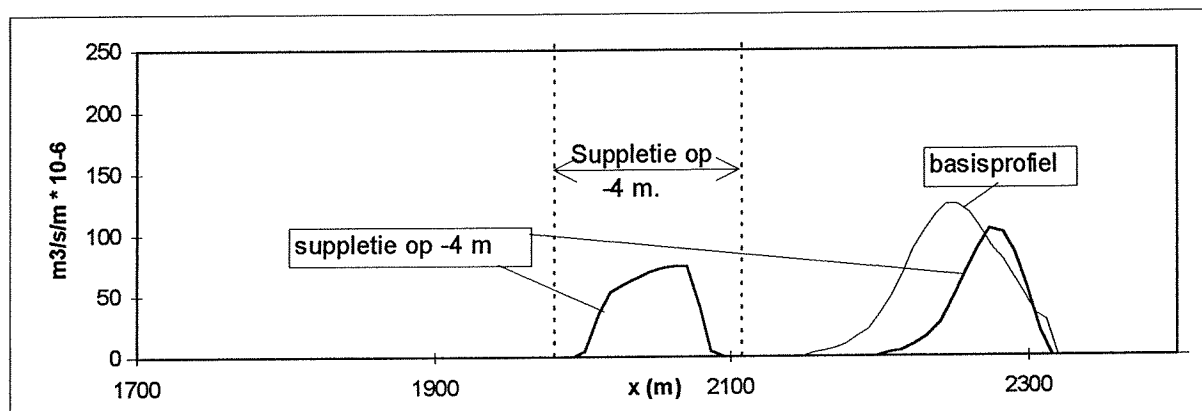


Fig. 5.6 Langtransport zonder getij bij suppletie op -4 m, $H_{rms} = 1$ m, $\alpha = 30^\circ$

Op de suppletie treedt een verhoging van het langtransport op. Dit komt door de brekende golven (zie paragraaf 4.2.2). Aan landzijde van de suppletie treedt een daling van het langtransport op doordat er minder golven breken. Een positief transport betekent in dit geval noordwaarts, zie figuur 5.7.

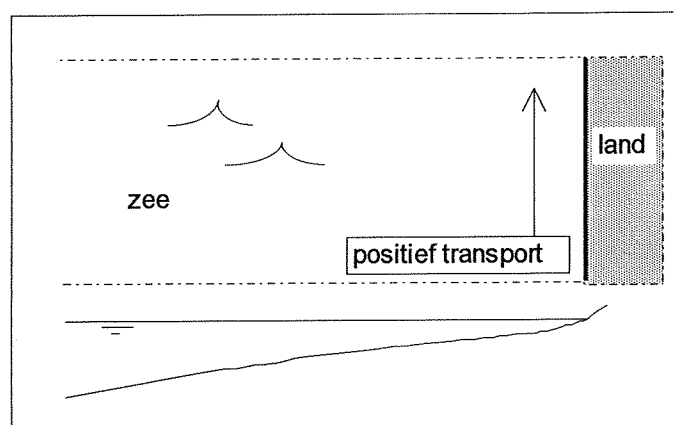


Fig. 5.7 Transportrichting

Voor de vergelijkingen in dit hoofdstuk en in hoofdstuk 6 zijn de transporten gebruikt die berekend zijn met de Bijker formule. Voor een toelichting zie paragraaf 3.2.2.

De uitkomsten zijn gescheiden in transport dat ontstaat door langsstroming opgewekt door golven en het transport dat door het getij ontstaat. De reden hiervoor is dat de beide stromingen zich anders gedragen (zie hoofdstuk 4) en dus de zandtransporten een ander karakter hebben.

5.2.2.1 Langtransport door golven

Hier worden de transporten door stroming opgewekt door brekende golven behandeld. In paragraaf 5.2.2.2 wordt transport door het getij behandeld.

In tabel 5.2 worden enkele langtransportvolumes met elkaar vergeleken. Voor een overzicht van alle berekende volumes wordt verwezen naar bijlage 5.

<i>Jaarlijks transport berekend met Bijker formule</i>	1	2	3
	Transport in BKL*-zone suppl.profiel/ Transport in BKL*-zone basisprofiel	Volume transport landzijde suppletie Profiel/ volume transport landzijde basisprofiel	Volume transport op de suppletie/ Volume van de suppletie
bank -4 m, 2 m hoog	0.51	0.48	219
bank -4 m 1.5 m hoog	0.73	0.73	205
bank -4 m, 1 m hoog	0.78	0.77	239
bank -6 m	0.92	0.67	245
bank -8 m	0.96	0.91	82

Tabel 5.2 Volume verhoudingen voor langtransport veroorzaakt door golven

Kolom 1:

Hier wordt de verhouding gegeven van het transport in de BKL*-zone in de suppletieprofielen met het transport in het basisprofiel.

Kolom 2:

Hier wordt hetzelfde gedaan voor het transport aan de landzijde van de suppleties.

Kolom 3:

Dit is het jaarlijkse langtransport op de suppletie gedeeld door het volume van de suppletie, beide per strekkende meter kust.

Toelichting tabel 5.2:

De eerste kolom laat zien dat de het langtransport in de BKL*-zone bij alle suppleties op -4 m aanzienlijk afneemt ten opzichte van het basisprofiel. Bij de diepere suppleties is dit wat minder. Deze afname komt door een afgenomen langsstroom omdat er aan de landzijde van de suppleties minder golven breken (zie hoofdstuk 4). Op de suppleties neemt het langtransport toe. Omdat bij de lagere (langere) suppleties op -4 m een groter deel van de suppletie in de BKL*-zone ligt is de netto daling van het langtransport in de BKL*-zone kleiner.

Voor het gebied aan landzijde (tweede kolom) geldt dus dezelfde redenering, hier valt alleen een sterkere daling bij de diepere suppleties op. Dit komt doordat de daling van de langsstroom het sterkst is vlak achter de suppletie, dit gedeelte wordt bij de suppleties op -6 en -8 m niet meegenomen als alleen naar de BKL*-zone wordt gekeken.

De derde kolom geeft te zien dat bij de suppleties op -4 en -6 m het transport op de suppleties ongeveer gelijk is. Dat er op de bank op -6 m evenveel transport is komt doordat een kleiner aantal hogere golven dat daar breekt evenveel transport genereert als een groter aantal lagere golven dat breekt boven de bank op -4 m. Deze kolom geeft inzicht in de transporten boven de suppleties. Als hiervoor de transportverschillen tussen de suppletieprofielen en het basisprofiel genomen zouden worden dan wordt de verplaatsing van de suppletie evenwijdig aan de kust verkregen, zie hoofdstuk 6.

Opmerking:

- UNIBEST-LT rekent geen profielveranderingen uit. De hier behandelde jaarlijkse transporten op de suppleties vallen dus hoger uit dan in werkelijkheid, de transporten aan de landzijde van de suppleties vallen lager uit.

Conclusies:

- Het langtransport in de BKL*-zone dat veroorzaakt wordt door golven wordt gereduceerd door aanleg van een vooroever suppletie; de suppletie werkt als golfbreker. Initieel is deze afname het grootst bij de suppletie van 2 m hoogte op -4 m, ongeveer de helft.
- De transporten op de suppleties zijn ongeveer gelijk, met uitzondering van de bank op -8 m.

5.2.2.2 Langtransport door getij

Het deel van het langtransport dat wordt veroorzaakt door het getij is verkregen door een simulatie waaruit het getij is weggelaten af te trekken van een simulatie met getij. Dit houdt in dat in de transporten veroorzaakt door het getij nog wel het opwoelen van zand door de golven merkbaar is. Dit zorgt dus voor grotere transporten dan wanneer alleen het getij ingevoerd zou zijn.

In tabel 5.3 zijn weer enkele transportvolumes met elkaar vergeleken.

<i>Jaarlijks transport berekend met Bijker formule</i>	1 Transport in BKL*-zone suppl.profiel/ Transport in BKL*-zone basisprofiel	2 Volume transport landzijde suppletie Profiel/ volume transport landzijde basisprofiel	3 Volume transport op suppletie / volume transport suppletiegebied in basisprofiel
bank -4 m, 2 m hoog	0.84	0.91	0.73
bank -4 m 1.5 m hoog	0.92	0.97	0.83
bank -4 m, 1 m hoog	0.88	0.96	0.86
bank -6 m	0.96	1	0.92
bank -8 m	0.99	1	0.57

Tabel 5.3 Volume verhoudingen voor langtransport veroorzaakt door getij

De kolommen 1 en 2 zijn weer hetzelfde als bij het langtransport door golven.

Kolom 3:

Dit is een vergelijking tussen het transport op de suppleties met de corresponderende gebieden in het basisprofiel.

Toelichting tabel 5.3:

Ook hier is een afname aan in de BKL*-zone bij de suppleties waar te nemen, al is deze minder dan bij het transport door golven. De oorzaak hiervan is de afgenomen zandconcentratie in het gebied aan landzijde van de suppleties door het breken van golven.

Dit is nog duidelijker te zien bij het transport aan landzijde van de suppleties: hier is een zeer kleine daling te zien bij de suppletieprofielen. De stroming die ontstaat door het getij is hetzelfde als in het basisprofiel, alleen de zandconcentratie in het water neemt iets af omdat er minder zand opgewoeld wordt.

In de laatste kolom is het interessant om te zien dat het langstransport lager is dan in de corresponderende gebieden in het basisprofiel. Dit komt doordat de snelheid van de getijstroom sterk afneemt op de suppleties, zie paragraaf 4.2.3.

6. Verspreiding en verplaatsing

Door de gradiënten die ontstaan in de zandtransporten zal er verplaatsing en verspreiding van de suppletie optreden, zowel in langs- als in dwarsrichting. Ook zal in het gebied aan landzijde van de suppleties op verschillende plaatsen aanzanding en erosie optreden. In dit hoofdstuk wordt een inleidende beschouwing gegeven van de morfologische veranderingen die optreden bij toepassing van een vooroeversuppletie.

6.1 Dwarsrichting

Omdat UNIBEST-TC profielveranderingen berekent is het mogelijk om aan de hand van de simulatieresultaten visueel inzicht te verkrijgen in de verspreiding en de verplaatsing van de suppletie in dwarsrichting. Op de plot van het profiel van een suppletie na 1 jaar is te zien dat de suppletie zich richting zee beweegt en dat de suppletie langer en lager wordt. Door visueel een schatting te maken wat de nieuwe lengte is van de suppletie kan de verspreiding in dwarsrichting bepaald worden. Hieruit wordt ook een nieuw middelpunt gevonden waarmee de verplaatsing bepaald kan worden.

In figuur 6.1 is voor de suppletie van 2 m hoog op -4 m aangegeven hoe de nieuwe suppletiegrenzen en de verplaatsing bepaald is. Met een dunne lijn is het initiële profiel weergegeven.

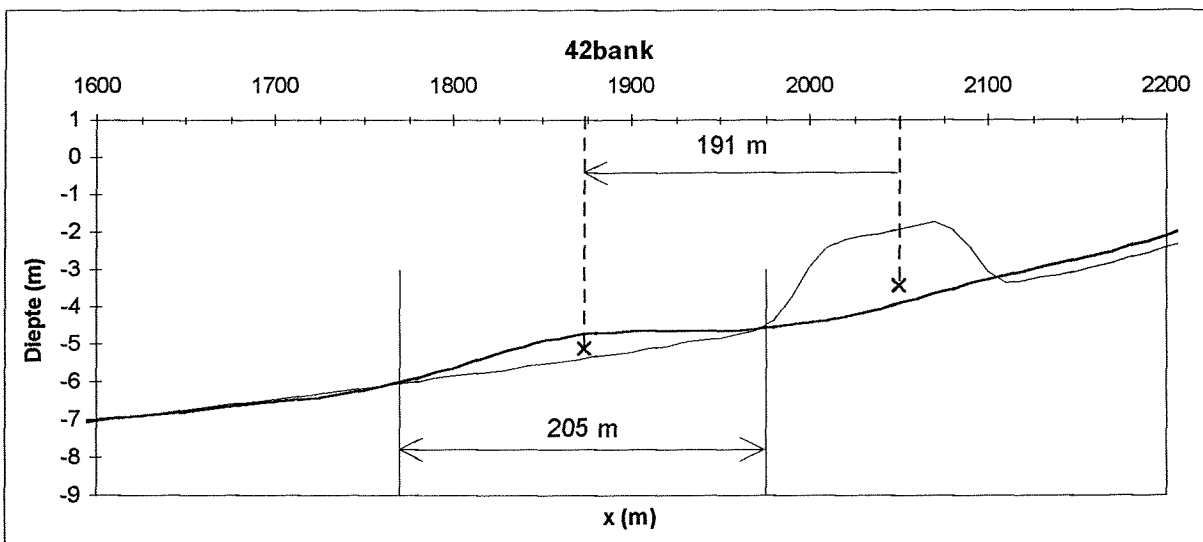


Fig. 6.1 Verplaatsing en verspreiding door dwarstransport suppletie van 2m op -4 m

De nieuwe suppletiegrenzen zijn visueel bepaald. De oorspronkelijke breedte van de suppletie is 126 m, de verspreiding is gedefinieerd als het verschil tussen de verplaatste en de oorspronkelijke suppletie, hier: $205 - 126 = 79$ m. Direct valt op dat er eigenlijk geen sprake meer is van een duidelijk zichtbare suppletie. Een deel van de suppletie is aan landzijde van de oorspronkelijke suppletie terecht gekomen waardoor de suppletiegrens moeilijk te bepalen is. Het nieuwe middelpunt wordt in het midden van de verplaatste suppletie genomen. De verplaatsing van (het midden van) de suppletie is in dit geval 191 m. De hoogte van de suppletie is ook afgenomen, de nieuwe hoogte is ongeveer een halve meter, 0.25 maal de oude hoogte.

Figuren 6.2 - 6.5 tonen voor de andere profielen de gevonden waarden.

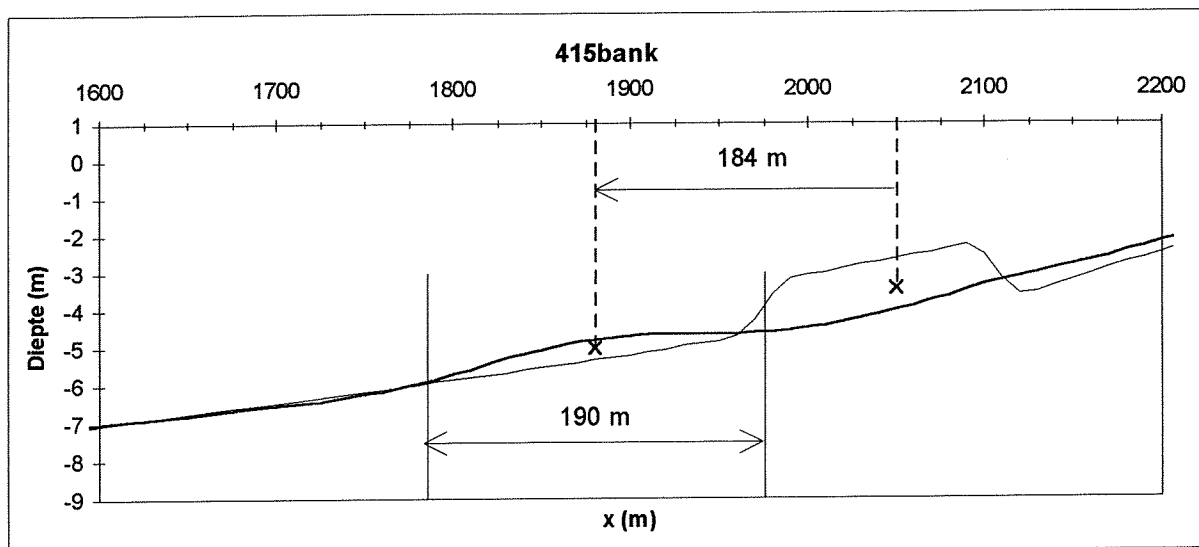


Fig. 6.2 Verplaatsing en verspreiding door dwarstransport suppletie van 1.5m op -4 m

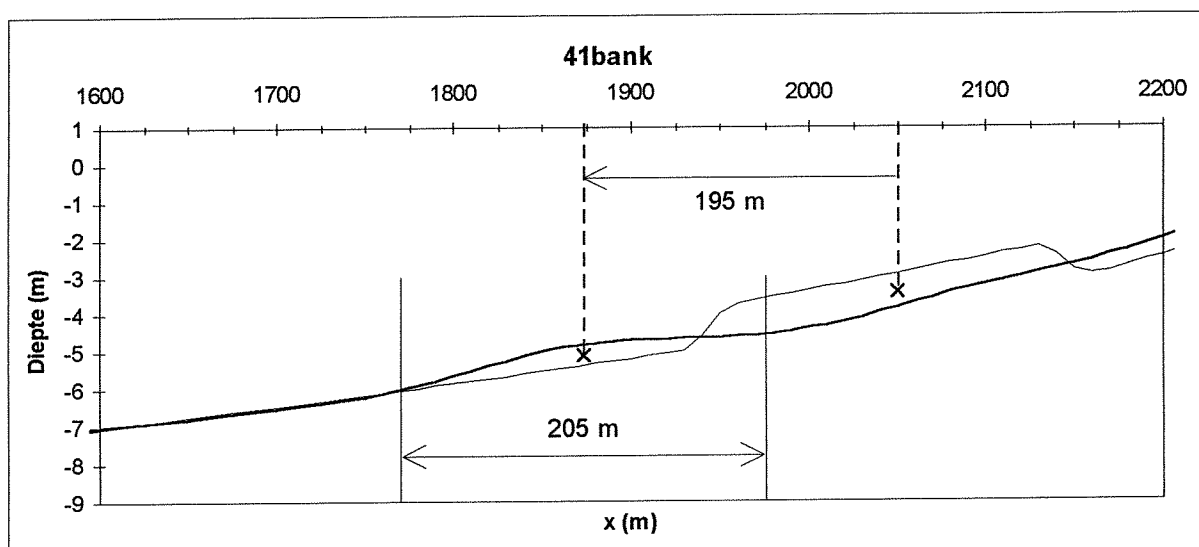


Fig. 6.3 Verplaatsing en verspreiding door dwarstransport suppletie van 1m op -4 m

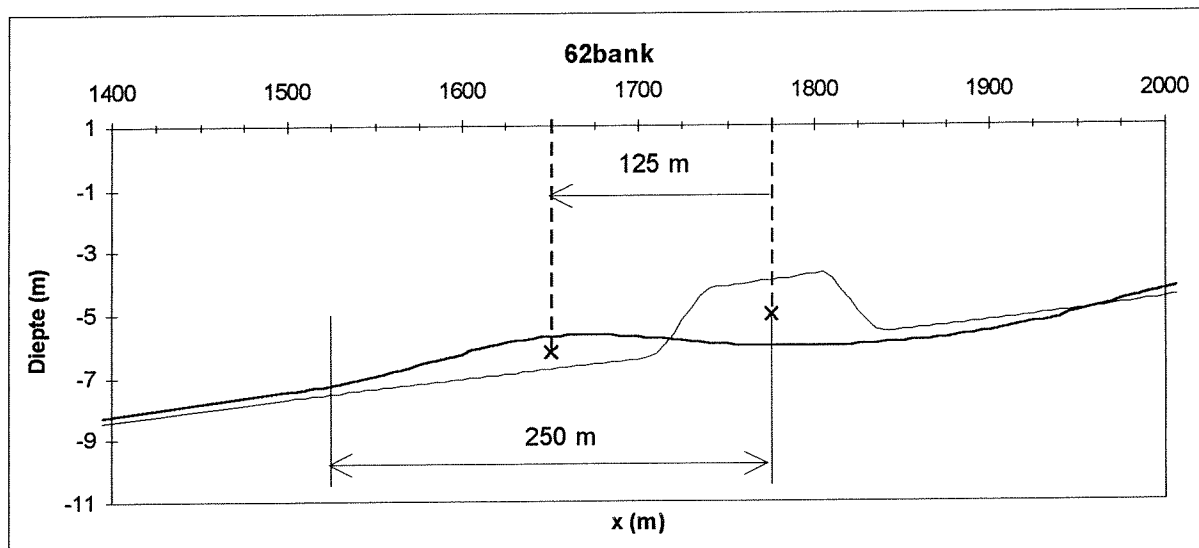


Fig. 6.4 Verplaatsing en verspreiding door dwarstransport suppletie van 2m op -6 m

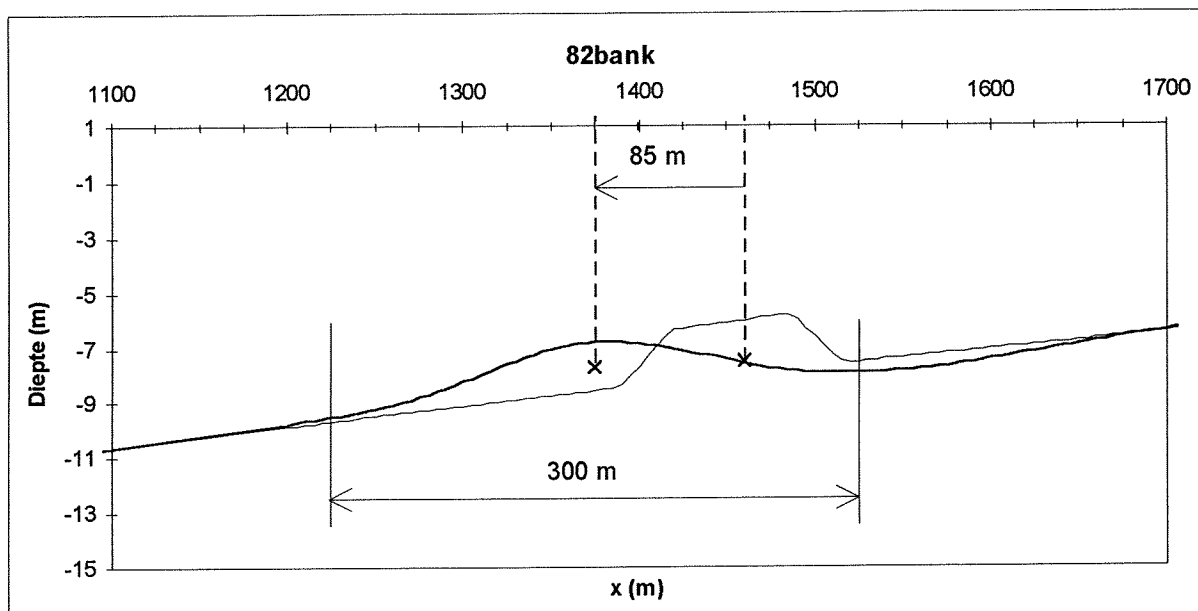


Fig. 6.5 Verplaatsing en verspreiding door dwarstransport suppletie van 2m op -8 m

In tabel 6.1 staan de gevonden waarden bij elkaar. Bij de profielen staat 42bank voor de suppletie 4 m diepte met hoogte 2 m, etc.

Profielen:	verplaatsing middelpunt (m)	verspreiding (m)	hoogte / initiële suppletiehoogte
42bank	191	79	0.25
415bank	184	36	0.33
41bank	195	0	0.50
62bank	125	124	0.50
82bank	85	174	0.90

Tabel 6.1 Verplaatsing en verspreiding door dwarstransport

Het is opvallend om te zien dat bij alle suppleties op -4 m na een jaar vrijwel hetzelfde profiel ontstaat. Hieruit valt te concluderen dat bij deze vorm vooral het initiële volume en middelpunt een rol spelen bij de vorming van het profiel na een jaar, niet de aanleghoogte.

Bij de groter aanlegdieptes wordt de verplaatsing kleiner en de verspreiding groter. Een reden hiervoor is dat er weliswaar minder zand verplaatst wordt maar er blijft meer liggen in de buurt van de suppleties.

De suppletie op -8 m is duidelijk nog het meest intact na een jaar. In hoofdstuk 5 is al aangegeven dat deze suppletie vooral de werking van golfbreker heeft bij stormen en dat ar verder nauwelijks transportgradiënten op de suppletie voorkomen. Hierdoor zal de suppletie veel langer na aanleg nog aanwezig zijn en bij toepassing als golfbreker enkele jaren zijn werking behouden.

6.2 Langsrichting

UNIBEST-LT rekent geen profielveranderingen uit dus hier zal met een andere methode een schatting moeten worden gemaakt van de verplaatsing en verspreiding van de suppleties. Achtereenvolgens worden behandeld: de verplaatsing van de suppletie langs de kust, de verspreiding van de suppletie in langsrichting en de aanzanding en erosie aan de landzijde van de suppletie. Om deze verschijnselen te bepalen moet eerst een lengte voor de suppleties evenwijdig aan de kust worden bepaald. Bij een oppervlak van 196 m^3 (de suppleties van 2 m hoog) geeft een lengte van 2 km een totaal volume van 392.000 m^3 . Volumes van toegepaste vooroeversuppleties variëren van 40.000 m^3 tot $3.500.000 \text{ m}^3$.

6.2.1 Verplaatsing evenwijdig aan de kustlijn

Om de verplaatsing van de suppletie te bepalen wordt een aantal aannamen gedaan.

Aannamen voor verplaatsing:

- Met verplaatsing wordt bedoeld de verschuiving van het middelpunt van de suppletie langs de kust, waarbij wordt verondersteld dat de suppletievorm intact blijft (geen dispersie).
- Het verschil in transport dat optreedt op de suppletie en het transport dat optreedt in datzelfde gebied in het basisprofiel geeft de netto verplaatsing van de suppletie.
- De invloed van het getij wordt buiten beschouwing gelaten.

Met deze aannamen kan op de volgende manier de verplaatsing van de suppleties evenwijdig aan de kustlijn worden berekend:

$$\text{verplaatsing} = \frac{\int_{x_z}^{x_L} S_{y,n} dx}{V'} \quad 6.1$$

waarin:

- x_L = x-coördinaat van de landgrens van de suppletie
- x_z = x-coördinaat van de zeegrens van de suppletie
- $S_{y,n}$ = verschil tussen netto jaarlijkse transporten in het basisprofiel en in het suppletieprofiel
- V' = volume van de suppletie per strekkende meter

Met de transportverschillen die berekend zijn in hoofdstuk 5 kan nu de verplaatsing van alle suppleties bepaald worden, zie tabel 6.2.

<i>Profielen</i>	verschil in transport boven suppletie (m^3/j)	volume per strek- kende meter (m^3/m')	verplaatsing langs de kust (m/j)
42bank	24.000	196	122
415bank	16.000	200	80
41bank	14.000	201	70
62bank	36.000	196	184
82bank	13.000	196	66

Tabel 6.2 Verplaatsing van de suppleties in langsrichting

Van de suppleties op -4 m heeft de die van 2 m de grootste verplaatsing. Dit komt door het grotere verschil in transport tussen het basisprofiel en het suppletieprofiel.

De suppletie op -6 m heeft de grootste verplaatsing. Het netto transportverschil is hier zo groot omdat er in het basisprofiel weinig sedimenttransport optreedt. Dit komt doordat er op die diepte weinig golven breken.

Opmerkingen:

- De transporten die gebruikt worden zijn gemiddeld over het gehele oppervlak van de suppletie. Het meeste langtransport vindt plaats aan de zeezijde van de suppleties (een piek in het langtransport), hier breken de meeste golven. Er zal daar dus ook een grotere verplaatsing zijn, terwijl de verplaatsing aan de landzijde van de suppletie kleiner zal zijn.

- De aanname dat het netto transportverschil wordt bepaald door het verschil in transport boven de suppletie en transport in datzelfde gebied in het basisprofiel impliceert dat het water dat boven de suppletie stroomt geheel afkomstig is uit het suppletiegebied in het basisprofiel. De versnelling van de stroom zal echter een zuigende werking hebben en er zal dus een groter volume water (en daarmee sediment) uit het basisprofiel beschouwd moeten worden om het netto transport boven de suppletie te berekenen, zie figuur 6.6.

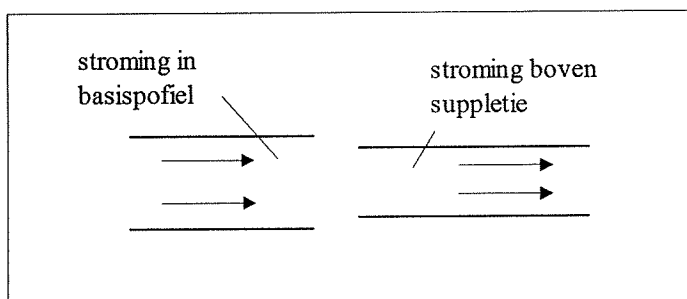


Fig. 6.6 Bovenaanzicht stroming

Bij beschouwing van het getij zal het omgekeerde gebeuren omdat de getijgedreven stroming vertraagt boven de suppletie.

- De overgang van het transport in het basisprofiel naar het transport in het suppletie profiel zal geleidelijk gaan door de traagheid van het water. Hierdoor zal bij de uiteinden de suppletie gaan vervormen. Hierop wordt in paragraaf 6.2.2 nader ingegaan.

6.2.2 Verspreiding evenwijdig aan de kustlijn

Omdat UNIBEST-LT uitgaat van een oneindig lange uniforme kust treden er in de zandtransporten geen gradiënten op. De berekende transporten zijn geldig voor de situatie dat de langsstroom zich geheel heeft aangepast aan het plaatselijke profiel. Er moet een schatting gemaakt worden van de lengte die nodig is om van het ene stromingsprofiel over te gaan naar het andere. Over deze lengte zal er een transportgradiënt zijn en daarmee een profielverandering.

Deze lengte wordt gerelateerd aan de hoeveelheid transport die er in een bepaalde richting plaatsvindt. Hiertoe wordt het jaarlijks transport gescheiden in een noordwaarts transport en een zuidwaarts transport. Per transportrichting wordt aangenomen dat het totale transport in die richting wordt geërodeerd aan de ene kant van de suppletie en weer wordt gedeponeerd aan de andere kant, waarbij de oorspronkelijke teen van de suppletie (y_0 bij profiel A in figuur 6.7) blijft gehandhaafd. De gradiënt wordt constant verondersteld wat een rechte lijn van y_0

tot de bovenkant van de suppletie tot gevolg heeft. Bij het deponeren wordt hetzelfde gedaan, dit geeft profiel B in figuur 6.7. Voor het zuidgaand transport wordt dezelfde methode toegepast, dit levert profiel C in figuur 6.7. Door de toe- en afname aan beide kanten bij elkaar op te tellen wordt het (symmetrische) profiel D van figuur 6.7 verkregen. Het verplaatste middelpunt komt overeen met de verplaatsing die is uitgerekend in paragraaf 6.2.1

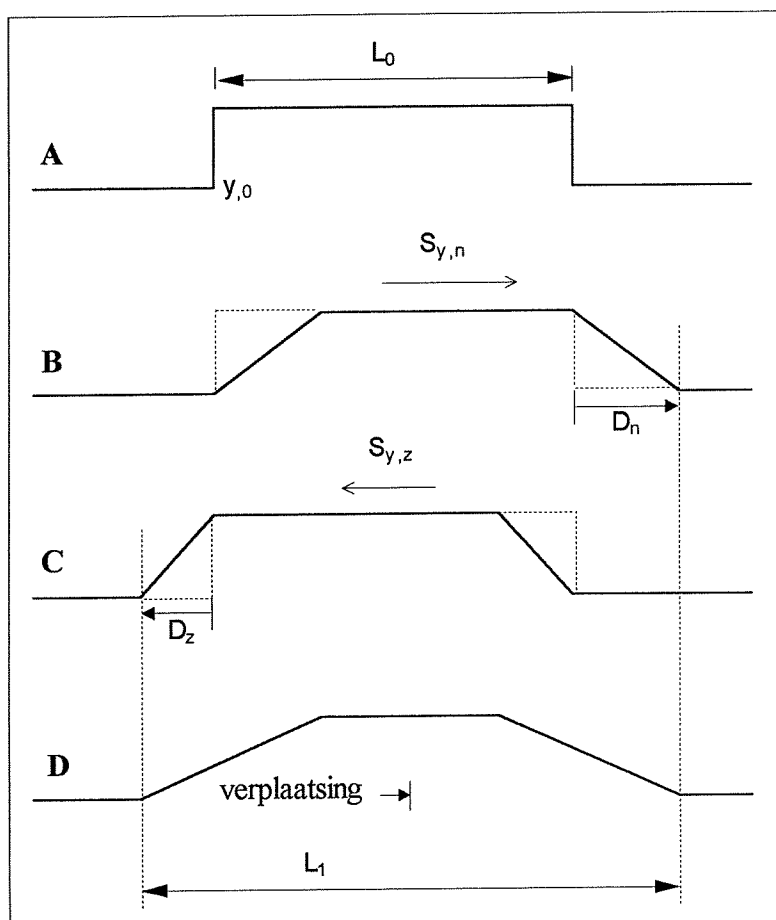


Fig. 6.7 Dispersie in langsrichting

Hierin zijn $S_{y,n}$ en $S_{y,z}$ het langstransport in respectievelijk noord- en zuidrichting. De verspreiding van zand in noord en zuidrichting wordt voorgesteld door D_n en D_z . De totale dispersie is $L_1 - L_0$. In tabel 6.3 staan de parameters van alle suppleties vermeld.

Profielen	D_n (m)	D_z (m)	L_1 (m)	dispersie (m)
42bank	520	398	2918	918
415bank	500	393	2893	893
41bank	647	507	3154	1154
62bank	535	352	2887	887
82bank	209	143	2352	352

Tabel 6.3 Dispersie in langsrichting

Opmerkingen:

- De dispersie wordt hier door een rechte lijn voorgesteld. In werkelijkheid is dit natuurlijk niet het geval, door een niet uniforme sedimentconcentratie over de vertikaal en de interactie van golven en (getij) stroming zal een andere helling ontstaan. Ook is de initiële afkapping aan de

uiteinden van de suppletie niet vertikaal. Doordat de golven (en stromingen) elkaar willekeurig afwisselen is het hier gebruikte model een te eenvoudige weerspiegeling van de verspreiding. De hier gebruikte methode dient slechts om een eerste indruk van de dispersie te geven.

- Ook hier is gewerkt met transporten die gemiddeld over de oppervlakte van de suppletie zijn. In werkelijkheid is er een piek in het transport aan de zeezijde aanwezig.

6.2.3 Aanzanding en erosie aan landzijde van de suppleties

Bij de overgang tussen het basisprofiel en het suppletieprofiel aan landzijde van de suppleties zal ook over een bepaalde overgangslengte een transportgradiënt ontstaan. Deze wordt geschat met behulp van de lengte waarover een zanddeeltje bezinkt.

Een deeltje dat bij de waterspiegel in suspensie is en niet verder wordt getransporteerd zal gaan zinken naar de bodem, de lengte die benodigd is voor een deeltje boven het diepste punt aan landzijde van de suppletie om de bodem te bereiken wordt als volgt bepaald:

$$L = \left(\frac{h}{w} * U_{\text{piek}} \right) \quad 6.2$$

waarin:

L = lengte langs de kust, benodigd om de bodem te bereiken [m]

h = diepste punt aan landzijde van de suppletie [m]

w = valsnelheid van het sedimentdeeltje (≈ 0.03) [m/s]

U_{piek} = pieksnelheid van de jaarlijks gemiddelde langsstroom per golfrichting [m/s]

Nu wordt per golfrichting (α) bepaald rond welke punten de overgang formeel plaatsvindt, deze punten worden y_1 en y_2 genoemd, zie figuur 6.8. Er wordt aangenomen dat de invloed van de overgang merkbaar is zowel voor als na de punten waar de transporten formeel in elkaar overgaan: de berekende lengte L wordt aan beide kanten van de punten y_1 en y_2 uitgezet om de lengte van het gehele overgangsgebied te verkrijgen. De totale overgangslengte om van het ene transport naar het andere over te gaan is dus $2L$. Deze lengte wordt L^* genoemd, y_1 en y_2 liggen in het midden van L^* .

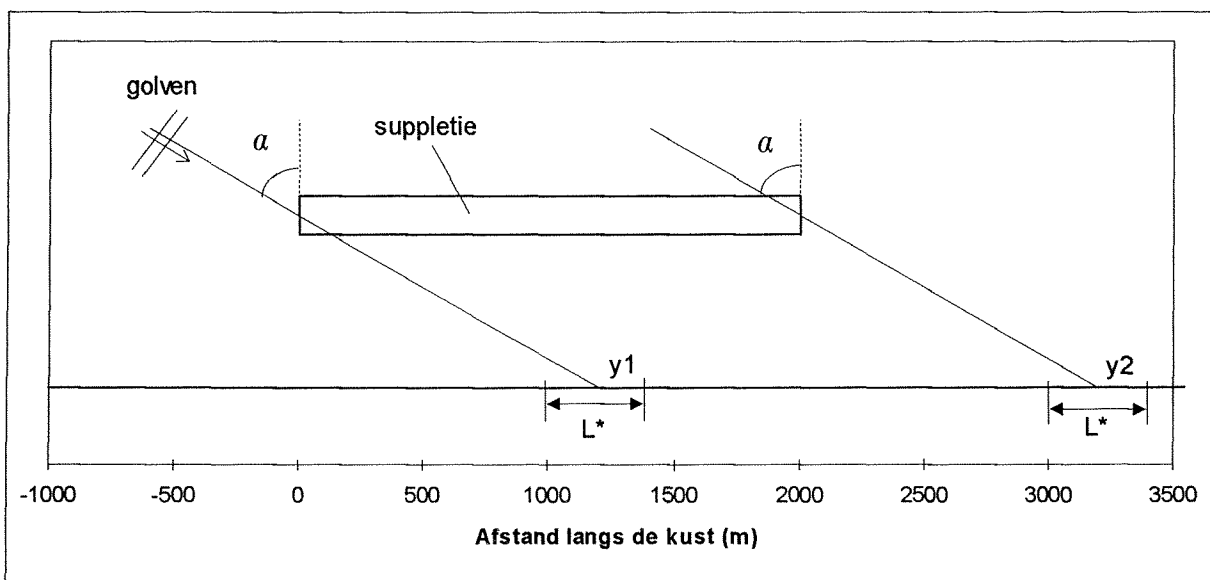


Fig. 6.8 Definitie overgangslengte landzijde

De aanzanding of erosie die over deze lengte L^* optreedt wordt gevonden door de gradiënt van het langtransport $\Delta S_y/L^*$ te bepalen. De gradiënt wordt constant verondersteld over de overgangslengte. Zie figuur 6.9 voor de definities.

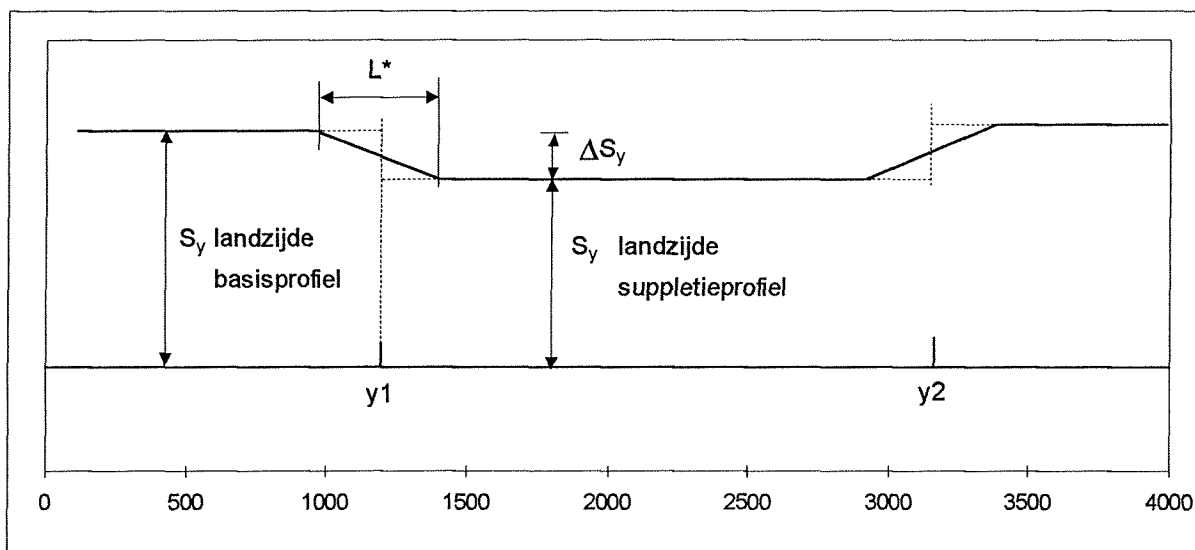


Fig. 6.9 Definitie transportgradient

Nu is het mogelijk voor alle golfrichtingen de $y1$, $y2$, ΔS_y en L^* te bepalen, deze waarden staan vermeld in bijlage 6. Door de gradiënten van het langtransport ($\Delta S_y/L^*$) van alle golfrichtingen in één grafiek te zetten wordt een beeld verkregen waar er aan de kust erosie en waar aanzanding ontstaat bij toepassing van een bepaalde vooroeversuppletie.

Dit verschijnsel van aanzanding en erosie aan landzijde van een bank evenwijdig aan de kust heet het "salient" effect en kan een rol spelen bij de effectiviteit van een vooroeversuppletie omdat hierdoor niet alleen zand afkomstig van de suppletie zelf zorgt voor terugwinning van de kustlijn maar ook het langtransport hieraan bijdraagt.

In de figuren 6.10 - 6.14 zijn voor alle profielen de gradiënten uitgezet langs de kust. De suppletie loopt van 0 - 2000 m in alle figuren.

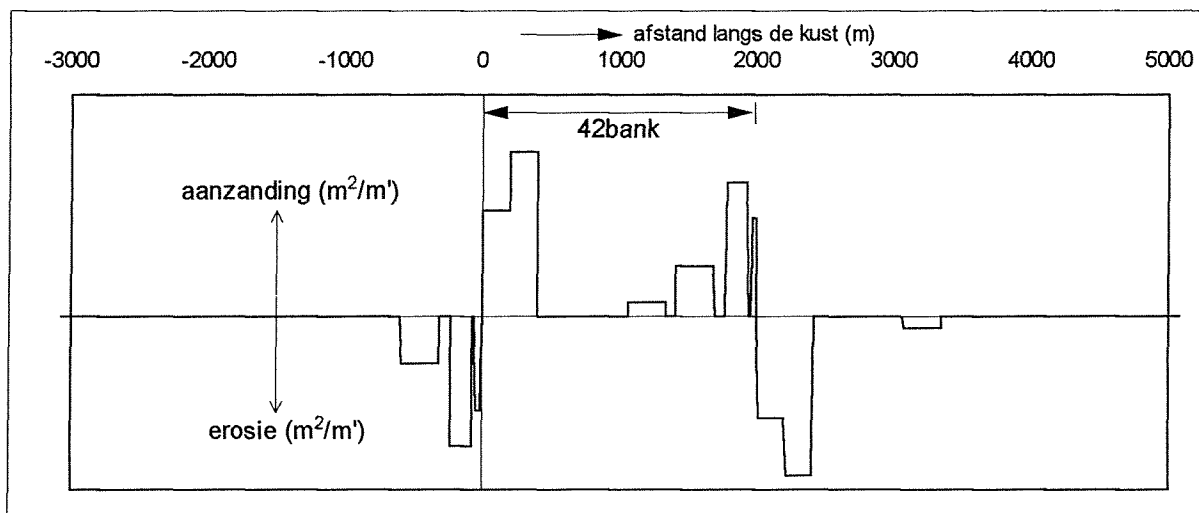


Fig. 6.10 Aanzanding en erosie aan landzijde van de suppletie van 2 m op -4 m

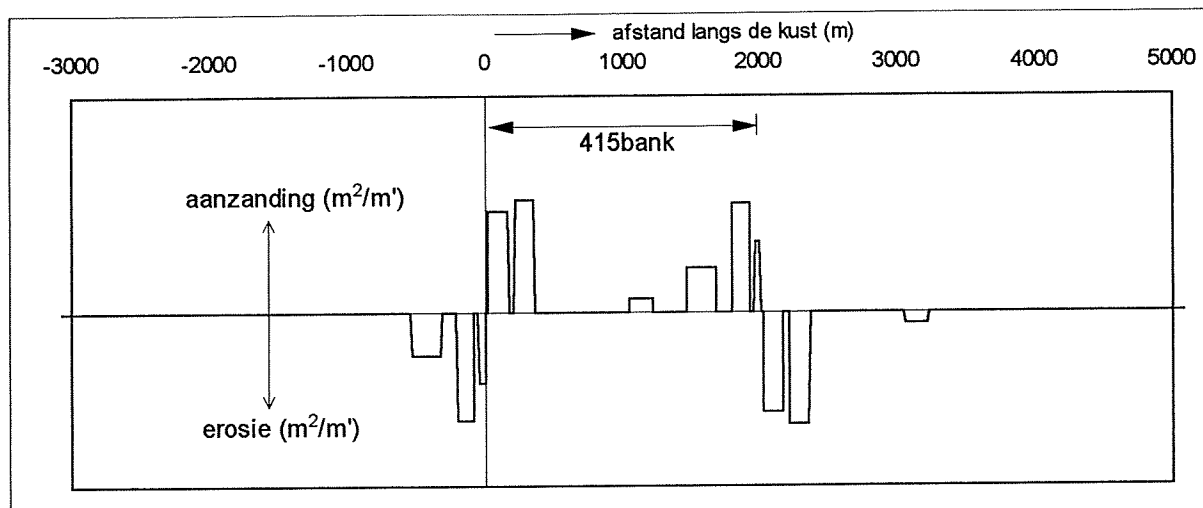


Fig. 6.11 Aanzanding en erosie aan landzijde van de suppletie van 1.5 m op -4 m

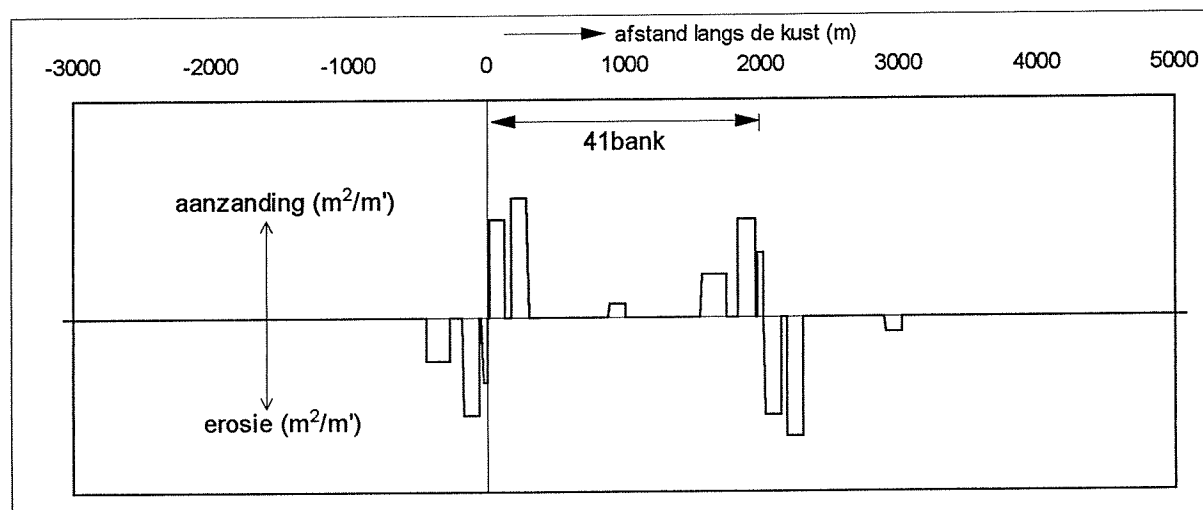


Fig. 6.12 Aanzanding en erosie aan landzijde van de suppletie van 1 m op -4 m

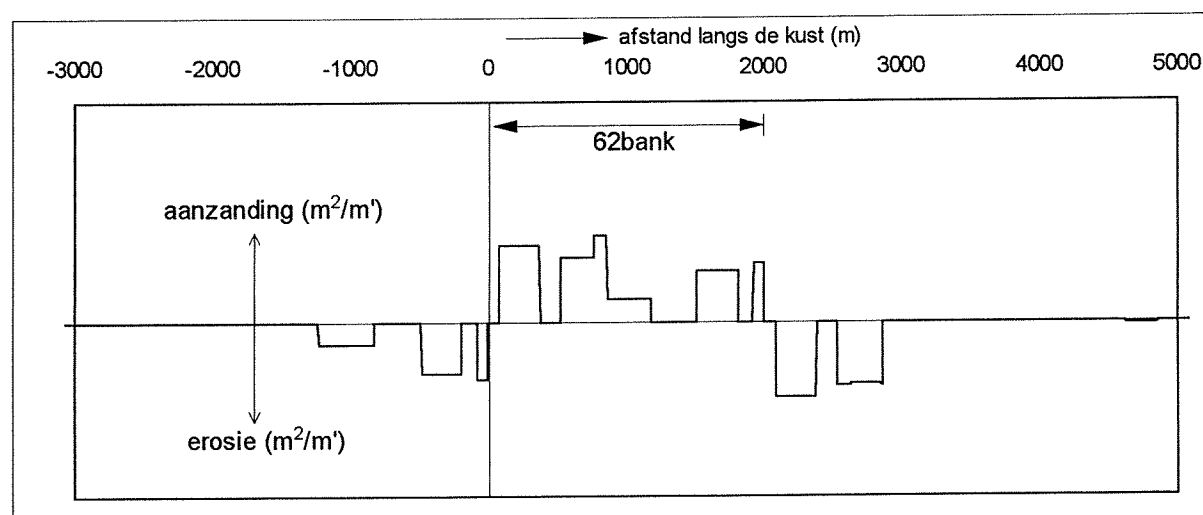


Fig. 6.13 Aanzanding en erosie aan landzijde van de suppletie van 2 m op -6 m

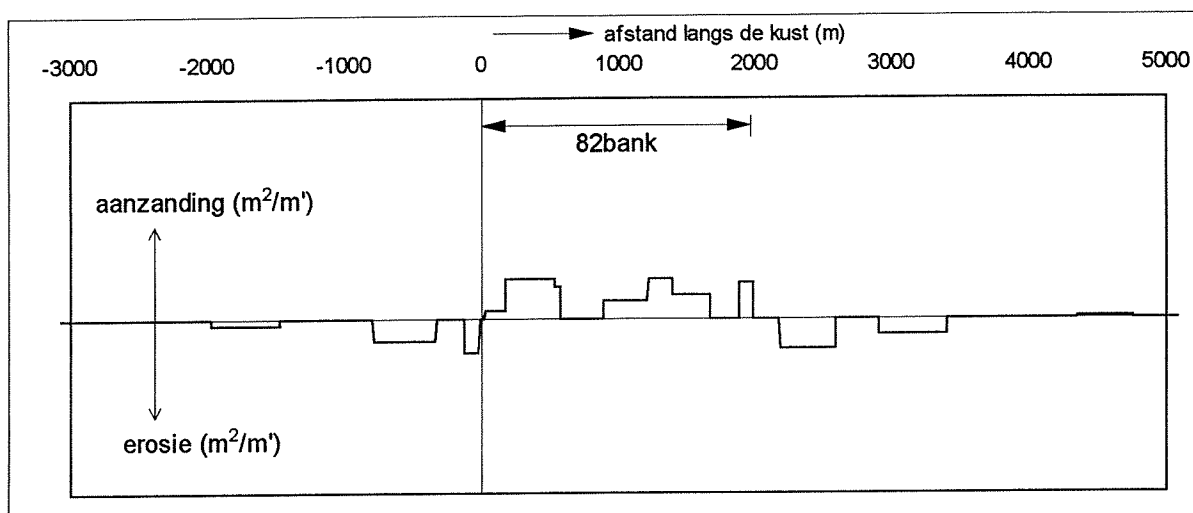


Fig. 6.14 Aanzanding en erosie aan landzijde van de suppletie van 2 m op -8 m

De eenheid van de aanzanding en erosie is m^2/m' , maar er zijn geen waarden gegeven omdat deze methode slechts bedoeld is om kwalitatief inzicht te verschaffen in de vorm van de kustlijn bij een vooroeversuppletie.

Bij de suppleties op -4 m is duidelijk te zien dat net buiten de suppletie bij beide uiteinden erosie optreedt. Aanzanding treedt op binnen de suppletie lengte, ook bij de uiteinden. In het gebied in het midden van de suppletie (ongeveer van 500 - 1500 m) treden nauwelijks transportgradiënten op; hier heeft het zandtransport zich aangepast aan de plaatselijke situatie. Hoe lager de suppletie is, hoe sterker dit "double salient" beeld naar voren komt.

Bij de suppleties op -6 en -8 m is het effect op het langstransport duidelijk minder. Het patroon waarbij er recht achter de suppletie geen gradiënten optreden is hier nauwelijks aanwezig.

Opmerkingen:

- De aanpassingslengte die nodig is om over te gaan van het ene transport naar het andere is van een aantal verschijnselen afhankelijk. De belangrijkste zijn de traagheid van het stromende water, wrijvingsverschillen en het verstoorde golfpatroon als gevolg van diffractie om de suppletie. De hier vastgestelde overgangslengten zijn gevonden aan de hand van de valsnelheid van een zanddeeltje. Deze veronderstelling is alleen geldig in uniforme stroming, dit komt in de kustzone niet voor. Deze lengte moet slechts als een indicatie gezien worden.

- De hier berekende gradiënten gelden voor de initiële suppleties. Door dispersie en verplaatsing zullen de transportverschillen, en daarmee de gradiënten, kleiner worden.

- In werkelijkheid wisselen de golfrichtingen elkaar willekeurig af en zal ook het getij invloed uitoefenen op de transporten. De hier behandelde methode dient ook slechts om een eerste indruk te verkrijgen van de invloed van een vooroeversuppletie op het langstransport aan landzijde.

7. Conclusies en aanbevelingen

7.1 Conclusies

1. Als de toename van het zandvolume in een gebied nabij de kustlijn (BKL*-zone) beschouwd hebben de suppleties op -4 m het meeste effect. Van de hoogste suppletie wordt het meeste zand landwaarts getransporteerd, deze is na een jaar vrijwel verdwenen.
2. De suppletie op -8 m werkt als golfbreker bij hoge golven. Er is geen netto volume toename in het gebied aan landzijde van de suppletie, er ontstaat wel een steiler profiel. Doordat er minder transport op de suppletie plaatsvindt blijft deze langer intact en houdt dus langer zijn werking als golfbreker.
3. Het langtransport aan landzijde neemt af door het breken van golven op de suppleties. Dit effect is vooral afhankelijk van de hoogte van de suppletie.
4. De afname van de suppletiehoogte is evenredig met de aanleghoogte en omgekeerd evenredig met de aanlegdiepte.
5. De suppleties verplaatsen zich in zeewaartse richting waarbij de verplaatsing evenredig is met de aanlegdiepte.
6. De verplaatsing van de suppletie langs de kust is het grootst bij de suppletie op -6 m. De verplaatsing bedraagt hier minder dan 10% van de initiële lengte.
7. De invloed van de suppleties op het langtransport aan de landzijde van de suppleties is het grootst bij de suppleties op -4 m, maar is slechts van betekenis bij de uiteinden van de suppletie. De supplerende werking is vrijwel geheel het gevolg van dwarstransport naar de kust.

7.2 Aanbevelingen

1. Omdat UNIBEST-LT geen profielveranderingen berekent zijn de gevonden waarden steeds geldig voor de initiële situaties. Om een realistischer beeld te krijgen van het verloop van de langtransporten gedurende 1 jaar zou het wenselijk zijn om de profielveranderingen uit UNIBEST-TC te verwerken in de berekeningen met UNIBEST-LT.
Een manier om dit te doen is het berekenen van de langtransporten in de initiële situatie en met het profiel dat is ontstaan na simulatie van 1 jaar in UNIBEST-TC en deze boven- en ondergrens voor het jaarlijks gemiddeld transport te beschouwen.
Als voorbeeld wordt het langtransport op de suppletie behandeld. In figuur 7.1 wordt getoond hoe de transporten berekend worden. De oppervlakte onder de grafieken van de gemiddelde jaartransporten stellen de totale jaarlijkse langtransporten voor. Gedurende een jaar zal het langtransport overgaan van het transport bij de initiële suppletie naar het transport bij het profiel dat na 1 jaar is ontstaan.
Door het transport lineair te laten afnemen (de gestreepte lijn in figuur 7.1) over de periode van 1 jaar wordt nog een te hoge schatting van het transport in 1 jaar verkregen, omdat de

afname van de suppletiehoogte door dwarstransport in het begin van het jaar sneller gaat omdat de suppletie dan het hoogste is. Een realistischer afname loopt steiler in het begin en flauwer aan het eind van het jaar. Het oppervlak onder deze gekromde lijn stelt dan het jaarlijks transport voor.

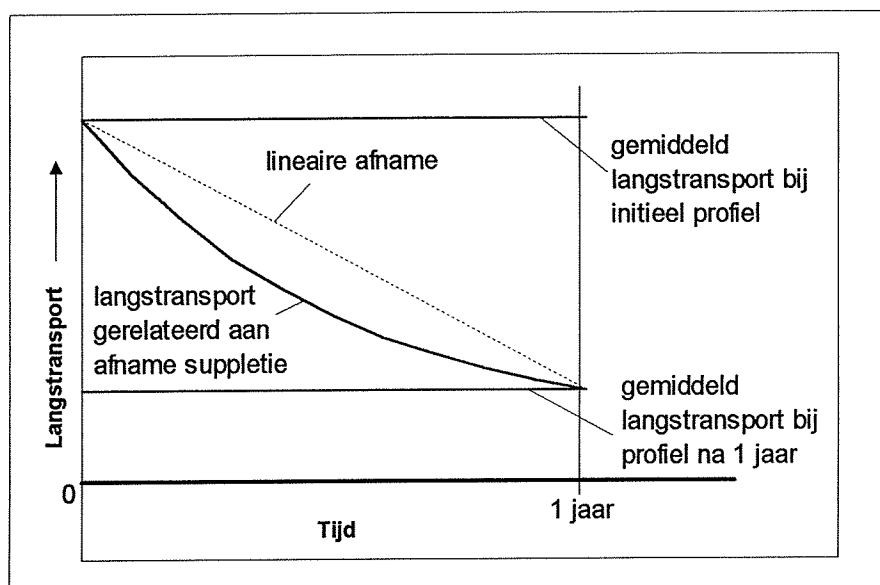


Fig. 7.1 *Afname langstransport gerelateerd aan afname van de suppletie*

De meest nauwkeurige methode zou een koppeling tussen de modules UNIBEST-TC en UNIBEST-LT zijn waarbij voor iedere tijdstap het langstransport met het veranderde profiel berekend wordt.

2. Om een goede vergelijking tussen vooroeversuppleties en strandsuppleties te kunnen maken zal er over een periode van meerdere jaren de langs- en dwarstransporten berekend moeten worden.
3. Om een goede schatting te verkrijgen van de overgangslengtes die gebruikt zijn bij het bepalen van de dispersie in langsrichting en bij de aanzanding en erosie aan de landzijde van de suppleties zou het wenselijk zijn om deze te bepalen aan de hand van metingen bij (proef)suppleties.
4. Het is in UNIBEST-LT niet goed mogelijk om de invloed van het getij te berekenen omdat het getij dezelfde stapgrootte moet hebben als de voorkomende golfrichtingen. In UNIBEST-TC wordt het getij wel onafhankelijk van de golven ingevoerd. Dit zou in UNIBEST-LT een oplossing zijn.

Literatuurlijst

- Battjes, J.A., (1993) : College dictaat b 76, korte golven: TU Delft, Faculteit der Civiele Techniek.
- Battjes, J.A., Janssen, J.P.F.M., (1978) : Energy loss and set-up due to breaking in random waves, proc. 16th Int. conf. on coastal engineering.
- De Vriend, H.J., Stive, M.J.F., (1987) : Quasi 3D-modelling of near-shore currents: Proc. 21st Int. conf. on coastal engineering.
- Van Ditzhuyzen, M., (1996) : Vooroeversuppleties: afstudeerverslag TU Delft, faculteit der Civiele Techniek.
- Kroon, A., (1994) : Sediment transport and morphodynamics of the beach and nearshore zone near Egmond, the Netherlands: Universiteit Utrecht : Faculteit Ruimtelijke Wetenschappen, proefschrift.
- Nairn, R.B.J.A., Roelvink, J.A., Southgate, H.N., (1990) : Transition zone width and implications for modelling surfzone hydrodynamics: Proc. 22nd Int. conf. on coastal engineering.
- Van Rijn, L.C., Reiniers, A., Zitman, T., Ribberink, J.S., (1995) : Yearly averaged sand transport at the -20 m and - 8 m NAP depth contours of the Jarkus profiles 14, 40, 76 and 103. Delft Hydraulics, report H 1887, project Kustgenese.
- Roelvink, J.A., (1993) : Surf beat and its effect on cross-shore profiles: Proefschrift TU Delft, Faculteit der Civiele Techniek.
- Sand, S.E., (1982) : Long wave problems in laboratory models, J. Waterw. Port Coastal Ocean div. ASCE, Eng., 108.
- Van der Velden, E. T. J. M., (1995) : College dictaat f 7, Coastal Engineering: TU Delft, Faculteit der Civiele Techniek.
- Waterloopkundig Laboratorium, (1993) : Users manual UNIBEST-TC.
- Waterloopkundig Laboratorium, (1996) : Yearly averaged sediment transport along the Dutch shore, upgrading of UNIBEST-TC.

BIJLAGE 1: Dwarsprofielen

Bijlage 1: Dwarsprofielen

1.1 Initiële profielen

Het uitgangsprofiel is afgeleid van een profiel voor de kust van Egmond. Het gemiddeld profiel zoals beschreven in Kroon (1994) is als basis gebruikt voor de uit te voeren simulaties.

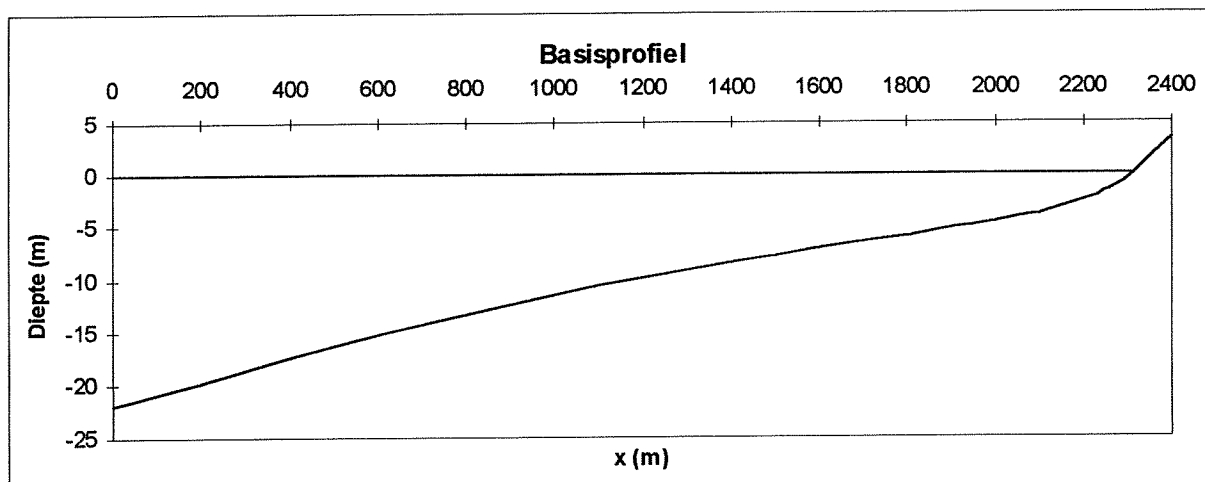


Fig. B 1.1 Basisprofiel

In dit basisprofiel is steeds een zandvolume aangebracht evenwijdig aan de kustlijn. Deze banken zijn aangelegd op drie verschillende dieptes. Het middelpunt van de onderkant van de bank is op respectievelijk -4, -6 en -8 m genomen. De suppleties zelf zijn twee meter hoog met de bovenkant evenwijdig aan het originele profiel. Voor de suppletie is een zandvolume van ruim $200 \text{ m}^3/\text{m}'$ aangehouden, deze waarde komt voort uit een globale schatting die als volgt is opgebouwd: een erosie van één meter per jaar over een hoogte verschil van twintig meter betekent $20 \text{ m}^3/\text{m}'$ per jaar. Bij een strandsuppletie één keer in de vijf jaar zou dit $100 \text{ m}^3/\text{m}'$ per suppletie moeten zijn. Er van uitgaande dat een vooroeversuppletie twee keer zoveel zand vergt wordt een waarde van 200 m^3 gevonden. Een volume van 196 m^3 wordt in een bank van 2 meter hoog verwerkt. De hellingen van de suppletie worden 1 : 14 genomen ($\cong 4^\circ$). De banken zijn 126 m lang (inclusief hellingen). Dit geeft de volgende drie profielen:

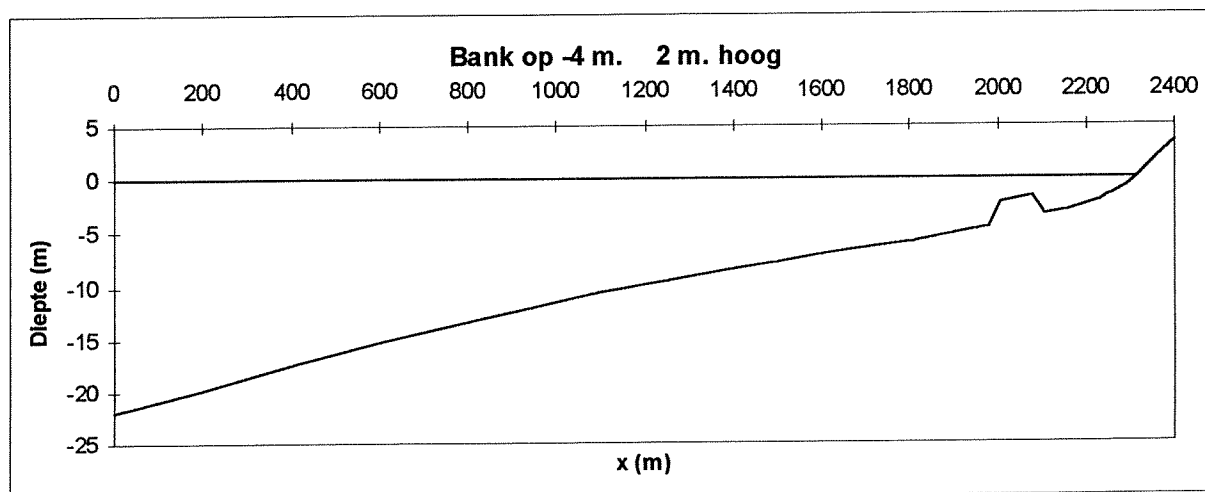


Fig B 1.2 Profiel met suppletie op -4 m

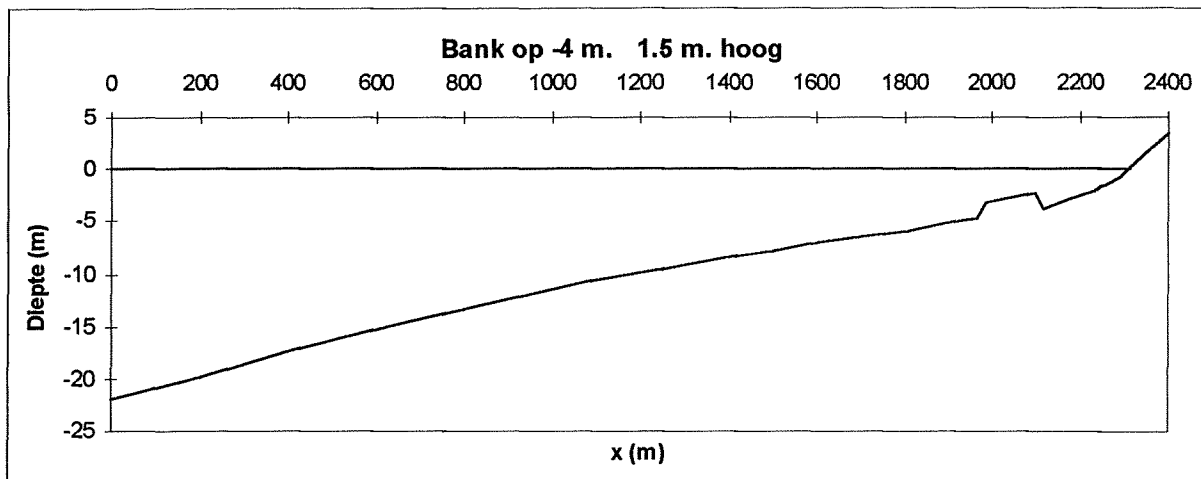


Fig B 1.6 Profiel met suppletie van 1.5 m. hoogte en 154 m. lengte op -4 m

1.2 Profielen na 7 dagen

De aangemaakte profielen zijn in UNIBEST_TC ingevoerd en er van ieder profiel een run gemaakt waarbij een golven met een H_{rms} van 1 m en een T_p van 6 s. een week lang loodrecht op de kust aankomen. De profielen die na deze run ontstaan zijn als uitgangsp profielen gebruikt voor de verdere simulaties zowel met UNIBEST_TC als met UNIBEST-LT. Dit is gedaan om het profiel iets meer tot een evenwichtsprofiel te maken en dus eventuele (opstart) pieken die kunnen ontstaan bij invoering van een nieuw profiel te vermijden. De volgende profielen worden hiermee verkregen:

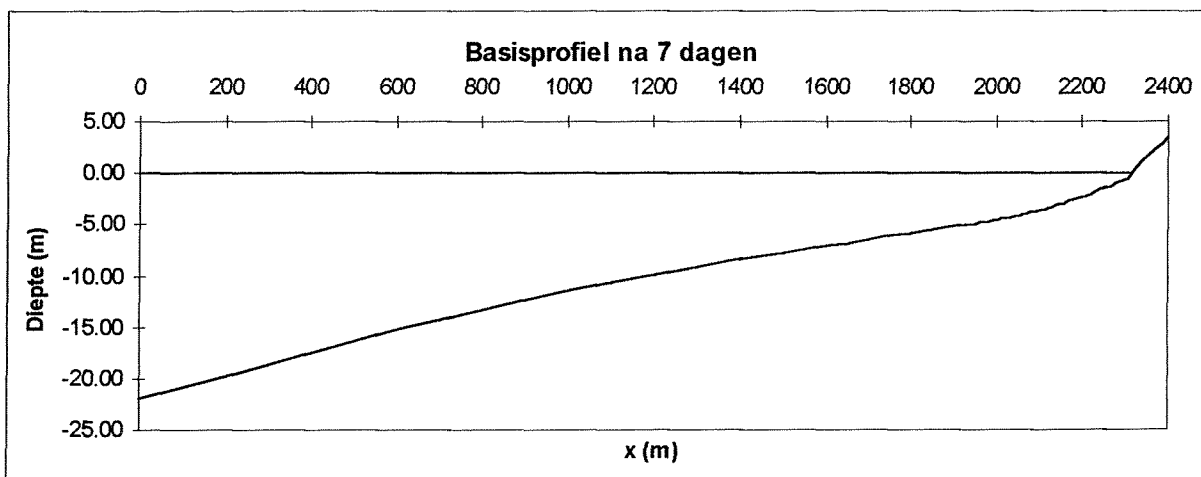


Fig B 1.7 Basisprofiel na golfaanval van 7 dagen

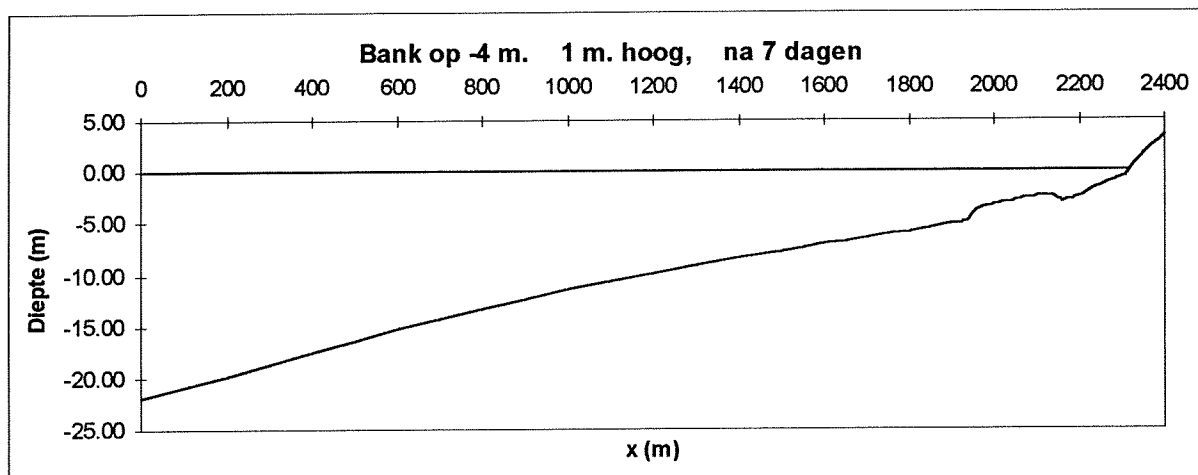


Fig B 1.11 Profiel met suppletie 1 m hoog op -4 m na golfaanval van 7 dagen

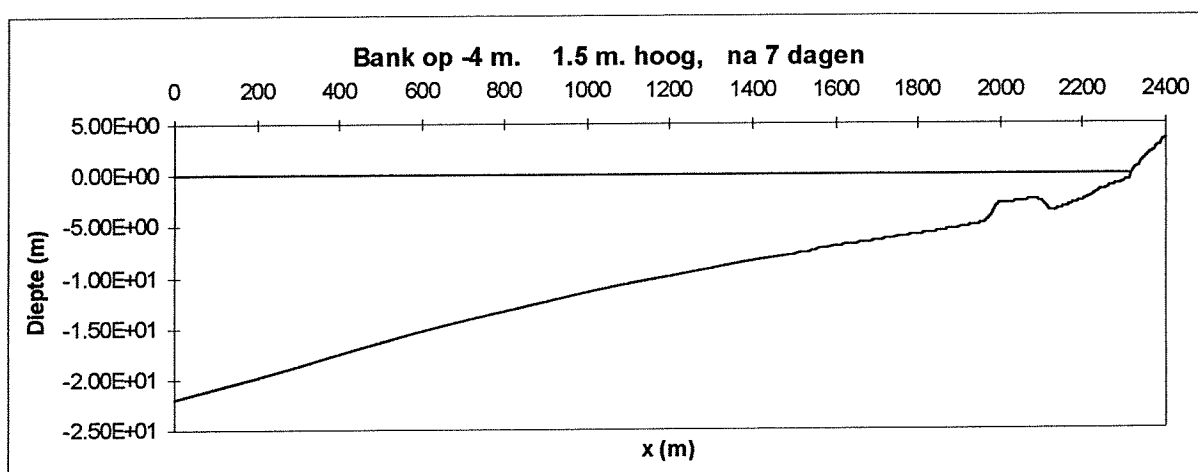


Fig B 1.12 Profiel met suppletie 1.5 m hoog op -4 m na golfaanval van 7 dagen

Bij alle profielen is te zien dat zich een knik vormt bij de waterlijn. Bij de suppleties is te zien dat de vorm minder hoekig wordt.

Bijlage 2 : Zand parameters

Bijlage 2: Zand parameters

Als standaard korrelgrootte is uitgegaan van een D_{50} van $200\ \mu\text{m}$. Voor de overige parameters is van de volgende waarden uitgegaan:

ε_b	= 0.1	(efficiency coëfficiënt voor bodem transport in de Bailard vergelijking)
ε_s	= 0.02	(efficiency coëfficiënt voor zwevend transport in de Bailard vergelijking)
w	= 0.03 m/s	(valsnelheid zanddeeltjes)
$\tan \varphi$	= 0.63	(hoek van inwendige wrijving van het zand)
ρ_{sed}	= 2650 kg/m ³	(massa dichtheid zand)
por	= 0.4	(porositeit)

In de nieuwe versie van UNIBEST-TC wordt een hoek van inwendige wrijving van 0.1 aangehouden, deze waarde geeft een realistischer resultaat.

Bijlage 3 : Golf parameters

Bijlage 3: Golf parameters

3.1 Golfvelden met constante H_{rms}

Voor de eerste serie tests in hoofdstuk en bijlage 4 zijn de initiële verschillen in stromingsverschijnselen bij verschillende golfvelden met constante golfhoogte H_{rms} onderzocht. Hiervoor zijn vier golfvelden gebruikt met een H_{rms} van respectievelijk 1, 2, 3 en 4 m. Daarbij zijn piek periodes T_p genomen van respectievelijk 6, 7, 8 en 9 seconden:

H_{rms} (m)	T_p (s)
1	6
2	7
3	8
4	9

Tabel B 3.1

Bij de verschijnselen die voor het dwarstransport zijn onderzocht zijn golfvelden aangehouden die recht op de kust aankomen om eventuele verschijnselen die gerelateerd zijn aan langsstroming buiten beschouwing te laten.

Bij het onderzoeken van het langstransport zijn golven gebruikt die onder een hoek van 30° met de kust aankomen.

Voor de verschijnselen van zowel het dwars- als het langstransport in hoofdstuk vier zijn de profielen gebruikt die ontstaan nadat er een golfveld met een H_{rms} van 1 m en een piekperiode van 6 s zeven dagen lang op gestaan heeft.

3.2 Golfvelden van 1 jaar

3.2.1 UNIBEST-TC

In hoofdstukken 5 en 6 is er gewerkt met transporten gedurende één jaar. Het golfveld dat voor het dwarstransport gebruikt is is afkomstig uit de Sea and Swell atlas, global wave statistics en metingen 7 km offshore Noordwijk 1/1/79 t/m 31/12/86, en is overgenomen uit v. Ditzhuyzen (1996). Er is aangenomen dat er bij aflandige wind geen zandtransporten optreden langs de kust, de periode van 179.2 dagen is representatief voor één jaar.

In tabel B 3.2 staan de waarden zoals deze zijn ingevoerd in UNIBEST-TC. De laatste ingevoerde regel loopt door tot 179.2 dagen.

Voor het getij zijn de waarden van Scheveningen genomen afkomstig uit het HOKU-model van Rijkswaterstaat. De getijsnelheid geldt op -8 m, zie tabel B 3.3. Omdat de tijdstap van 1 uur teveel punten zou opleveren in UNIBEST-TC is de tijdstap uitgerekt naar drie uur

Tijdstap (uren)	h (m)	v (m/s)	Tijdstap (uren)	h (m)	v (m/s)
1	-0.60	-0.48	13	-0.60	-0.48
2	-0.35	-0.35	14	-0.35	-0.35
3	-0.10	-0.10	15	-0.10	-0.10
4	0.56	0.55	16	0.56	0.55
5	1.16	0.80	17	1.16	0.80
6	1.20	0.70	18	1.20	0.70
7	0.78	0.43	19	0.78	0.43
8	0.40	0.25	20	0.40	0.25
9	-0.13	-0.08	21	-0.13	-0.08
10	-0.36	-0.42	22	-0.36	-0.42
11	-0.34	-0.60	23	-0.34	-0.60
12	-0.48	-0.72	24	-0.48	-0.72

Tabel B 3.3 Nederlands getijklimaat

3.2.2 UNIBEST-LT

Dit golfveld was niet geschikt om in UNIBEST-LT in te voeren en daarom is een golfveld voor de kust bij Egmond gebruikt, verkregen door interpolatie van metingen bij Goeree, Noordwijk en Texel, zoals beschreven in een studie van het Waterloopkundig Laboratorium, rapport HH1887, project Kustgenese (1995).

De kustoriëntatie bij Egmond is 10°. De golfrichtingen in UNIBEST worden opgegeven ten opzichte van de normaal op de kust. De opgegeven sectoren zijn weergegeven door hun gemiddelde richting (golven in de sector 210-240 worden weergegeven als golven met een hoek van 225°). Per sector is per golfhoogte aangegeven hoeveel procent van de tijd (een jaar) deze hoogte voorkomt. Deze procenten zijn hier als dagen opgenomen, zie tabel B 3.4.

Richtingssectoren			180-210	210-240	240-270	270-300	300-330	330-360	0-30
assenstelsel UNIBEST			80	55	25	-5	-35	-65	-85
H:	Hs	Tp	# dagen dat een bepaalde golfhoogte voorkomt						
< 0.5	0.25	4.9	4.2	6.7	4.2	3.3	2.8	3.3	1.4
0.5 - 1.0	0.75	5.3	9.2	17.2	11	8.1	7	7.3	2.7
1.0 - 1.5	1.25	5.6	6.1	14.1	10	7.2	6.6	6.2	1.9
1.5 - 2.0	1.75	6.6	3.3	10.4	7.3	5.4	5.2	4.1	0.8
2.0 - 2.5	2.25	7.2	1.7	5.6	4.3	3.7	3.3	2.3	0.3
2.5 - 3.0	2.75	7.3	0.9	2.9	2.7	2.4	1.9	1.4	0.1
3.0 - 3.5	3.25	7.8	0.3	1.1	1.6	1.5	1.1	0.6	0
3.5 - 4.0	3.75	8.6	0.1	0.5	0.7	1.1	0.5	0.2	0
4.0 - 4.5	4.25	9.1	0	0.1	0.5	0.6	0.4	0.1	0
> 4.5	4.75	9.7	0	0	0.5	0.8	0.4	0.1	0
dagen:			25.8	58.6	42.8	34.1	29.2	25.6	7.2
			totaal # dagen:						
									223.3

Tabel B 3.4 Voorkomen van golfhoogtes per richtingssector

h_{getij} (m)	H_s (m)	T_p (s)	α (°)	duur (d)	v_{getij} (m/s)
-.13	4.25	9.10	-5.00	0.60	-0.08
.56	4.75	9.70	-5.00	0.80	0.55
-.36	0.25	4.90	-35.00	2.80	-0.45
-.36	0.75	5.30	-35.00	7.00	-0.45
-.10	1.25	5.60	-35.00	6.60	-0.10
1.16	1.75	6.60	-35.00	5.20	0.80
.78	2.25	7.20	-35.00	3.30	0.43
-.10	2.75	7.30	-35.00	1.90	-0.10
-.36	3.25	7.80	-35.00	1.10	-0.45
.40	3.75	8.60	-35.00	0.50	0.25
-.35	4.25	9.10	-35.00	0.40	-0.35
-.35	4.75	9.70	-35.00	0.40	-0.35
-.36	0.25	4.90	-65.00	3.30	-0.45
1.20	0.75	5.30	-65.00	7.30	0.70
-.36	1.25	5.60	-65.00	6.20	-0.45
-.60	1.75	6.60	-65.00	4.10	-0.48
-.36	2.25	7.20	-65.00	2.30	-0.45
1.16	2.75	7.30	-65.00	1.40	0.80
-.36	3.25	7.80	-65.00	0.60	-0.45
1.16	3.75	8.60	-65.00	0.20	0.80
1.16	4.25	9.10	-65.00	0.10	0.80
1.16	4.75	9.70	-65.00	0.10	0.80
-.13	0.25	4.90	-85.00	1.40	-0.08
-.13	0.75	5.30	-85.00	2.70	-0.08
-.36	1.25	5.60	-85.00	1.90	-0.45
-.35	1.75	6.60	-85.00	0.80	-0.35
.40	2.25	7.20	-85.00	0.30	0.25
.40	2.75	7.30	-85.00	0.10	0.25

Tabel B 3.5 Golf- en getijklimaat gebruikt voor UNIBEST-LT

Bijlage 4 : Beïnvloeding van golven en stroming door een suppletie

Bijlage 4: Beïnvloeding van golven en stroming door een suppletie

Er zal nu gekeken worden naar de invloed van een vooroeversuppletie op de golf- en stromingsverschijnselen die in grote mate bepalend zijn voor het zandtransport. Voor dwars- en langstransport en getijstroming wordt een aantal relevante verschijnselen vergeleken met de situatie zonder suppletie. Er wordt gekeken naar initiële situaties waarbij het profiel dat na zeven dagen is ontstaan wordt bekeken bij de verschillende golfvelden.

4.1 Dwarstransport

Voor het dwarstransport zijn met name de retourstroomsnelheid en de snelheid van de orbitaalbeweging van belang.

Orbitaalbeweging

Voor alle suppleties is per golfhoogte gekeken naar de orbitaalsnelheden onder de aankomende golven, aangezien het opwoelen van zand sterk gerelateerd is aan de orbitaalbeweging. In de volgende figuren is voor de vijf profielen met suppletie telkens de orbitaalsnelheid uitgezet bij het desbetreffende profiel. Per golfhoogte van H_{rms} 1, 2, 3 en 4 m is de orbitaalsnelheid bij de profielen met suppletie vergeleken met die bij het basisprofiel. De resultaten zijn onderverdeeld in grafieken van de profielen op -4-, -6 en -8 m, en grafieken van de drie profielen op -4 m. De suppletie van 2 m hoogte op een diepte van -4 m is dus in beide grafieken weergegeven. De orbitaalsnelheid bij het basisprofiel is telkens met een dunne lijn aangegeven.

Suppleties op verschillende dieptes

Figuren B 4.1 - B 4.4 tonen de orbitaalsnelheden voor de suppleties van 2 m hoog op -4, -6 en -8 m.

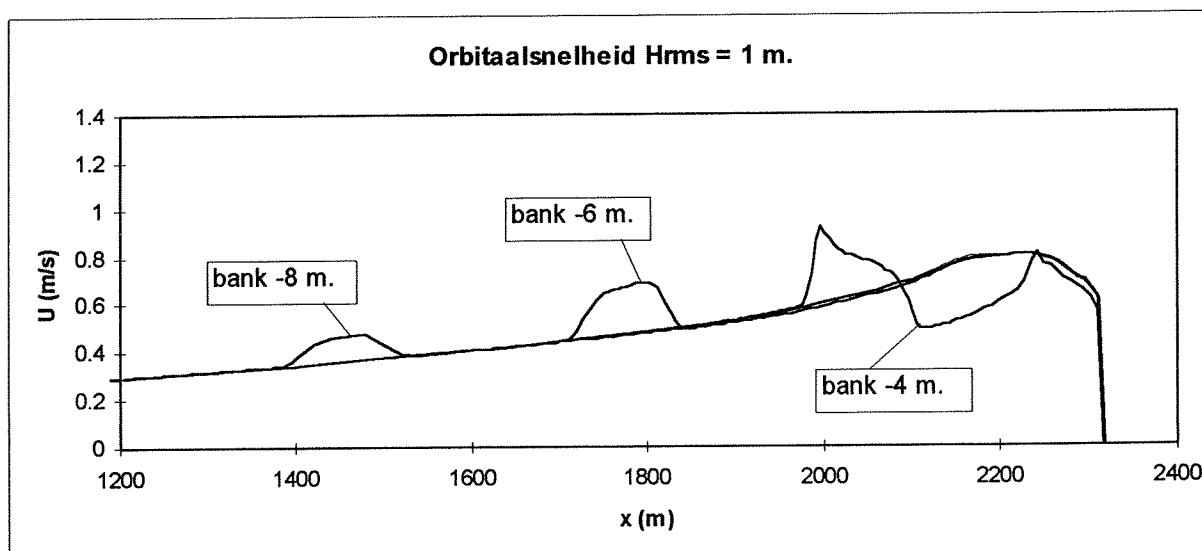


Fig. B 4.1 Orbitaalsnelheden bij $H_{rms} = 1$ m. voor suppleties op -4, -6 en -8 m.

De orbitaalsnelheden nemen boven alle suppleties toe ten opzichte van het basisprofiel. Bij een H_{rms} van 1 m is de toename bij de suppletie op -4 m het grootst en heeft deze ook als enige een daling aan de landzijde tot gevolg.

Bij golfhoogtes H_{rms} van 2, 3 en 4 m is telkens de toename op de suppletie vergelijkbaar en is er bij alle suppleties een daling aan de landzijde waarneembaar, waarbij de daling bij de suppletie op -4 m steeds de grootste is.

Bij $H_{rms} = 1$ m valt op dat de (maximum) orbitaalsnelheden het grootste zijn bij de bank op -4 m. Dit verschijnsel neemt af naarmate de golven hoger worden; bij $H_{rms} = 3$ m zijn de snelheden bij de bank op -8 m iets groter.

Suppleties op 4 m diepte

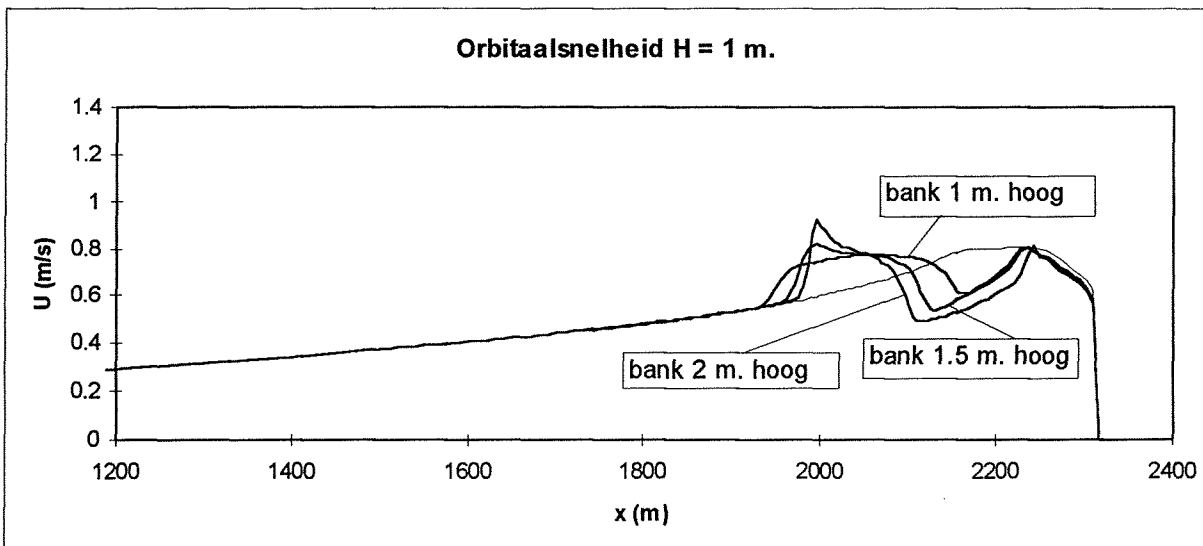


Fig. B 4.5 Orbitaalsnelheden bij $H_{rms} = 1$ m. voor 3 suppleties op -4 m.

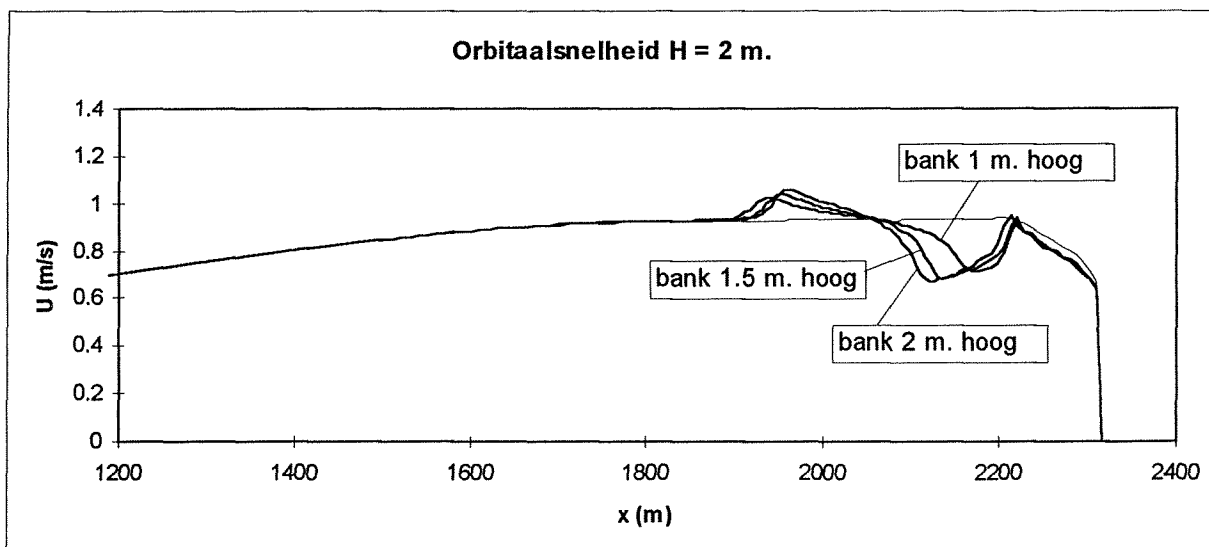


Fig. B 4.6 Orbitaalsnelheden bij $H_{rms} = 2$ m. voor 3 suppleties op -4 m.

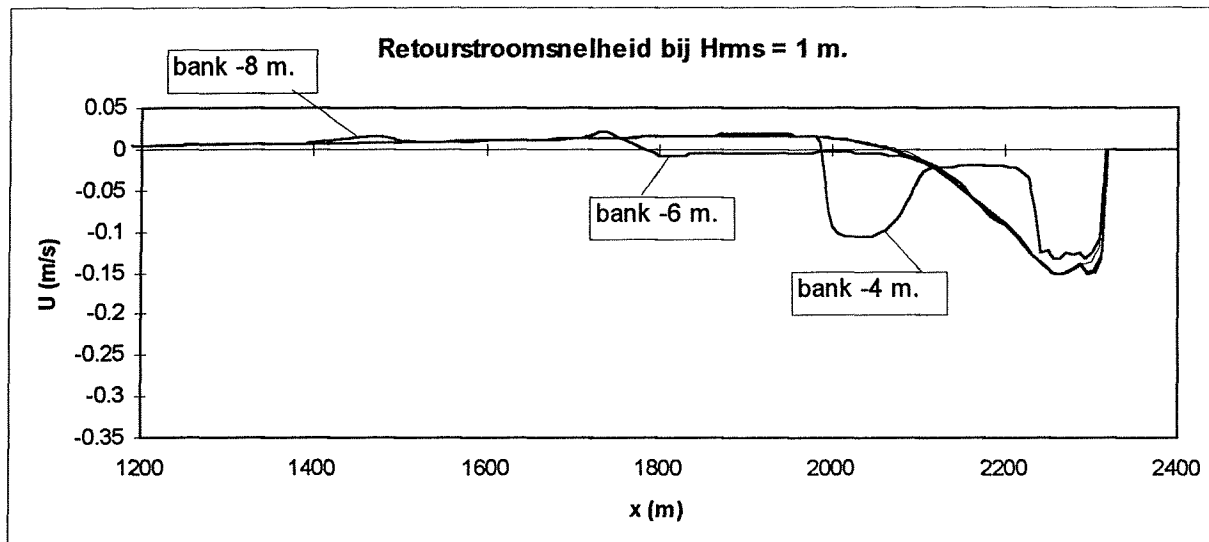


Fig. B 4.9 Retourstroomsnelheden bij $H_{rms} = 1$ m. voor suppleties op -4, -6 en -8 m.

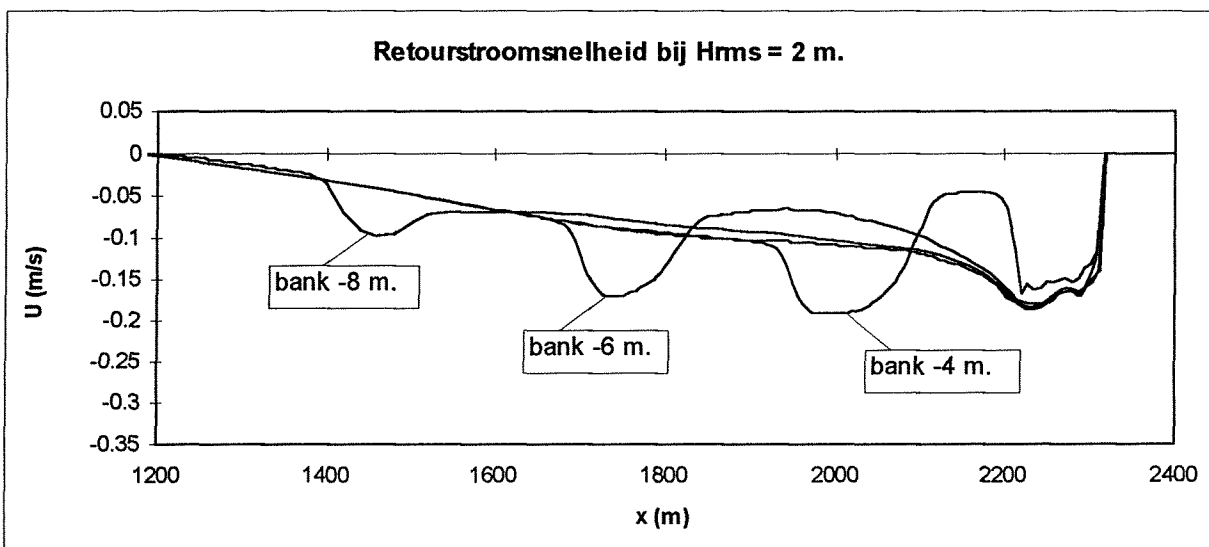


Fig. B 4.10 Retourstroomsnelheden bij $H_{rms} = 2$ m. voor suppleties op -4, -6 en -8 m.

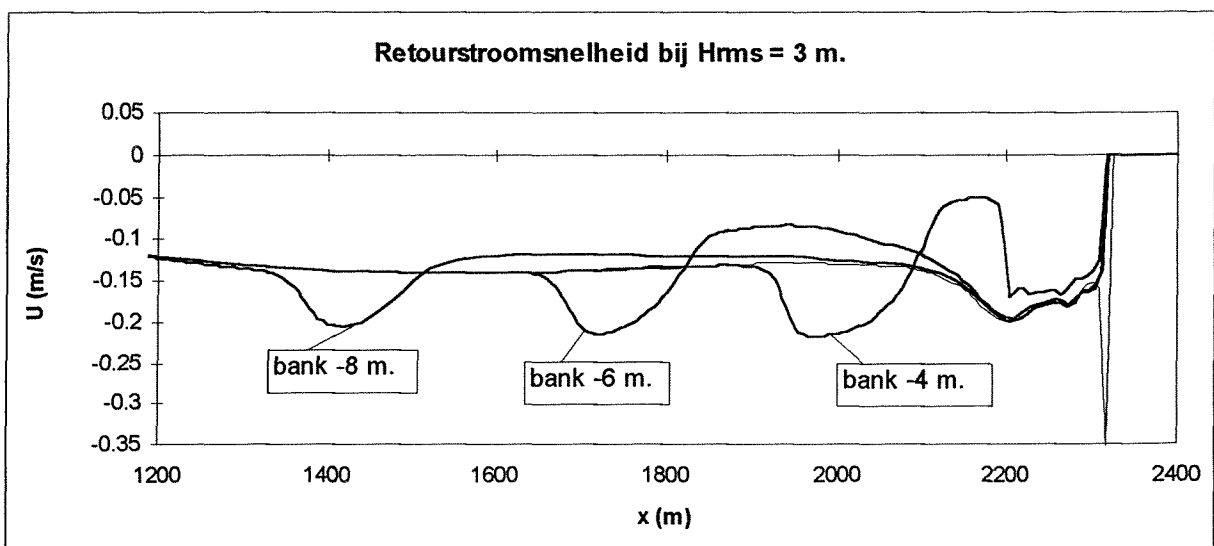


Fig. B 4.11 Retourstroomsnelheden bij $H_{rms} = 3$ m. voor suppleties op -4, -6 en -8 m.

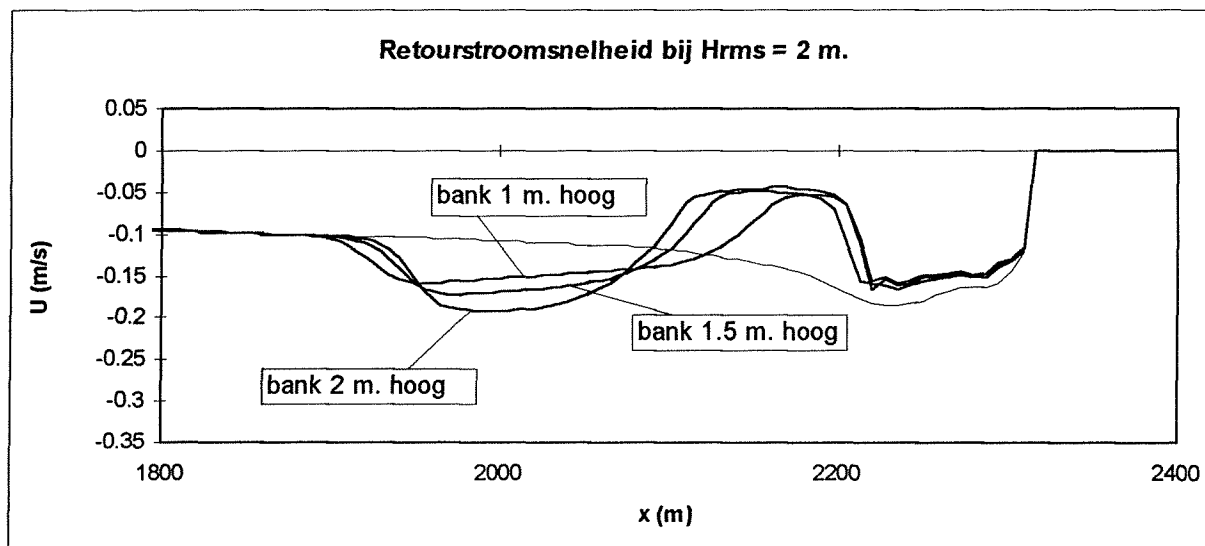


Fig. B 4.14 Retourstroomsnelheden bij $H_{rms} = 2$ m. voor 3 suppleties op -4 m.

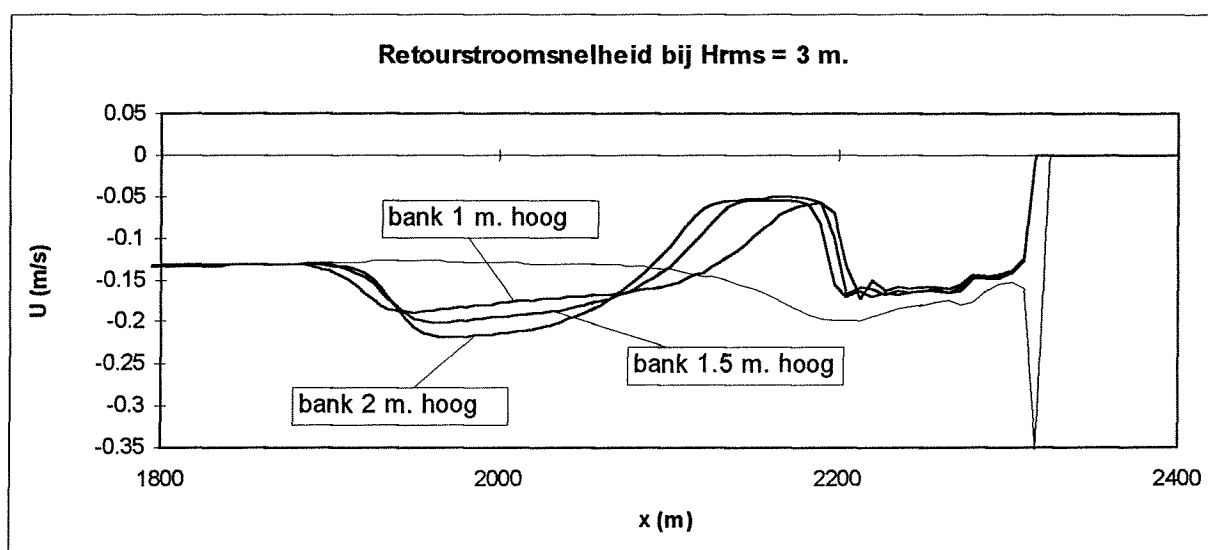


Fig. B 4.15 Retourstroomsnelheden bij $H_{rms} = 3$ m. voor 3 suppleties op -4 m.

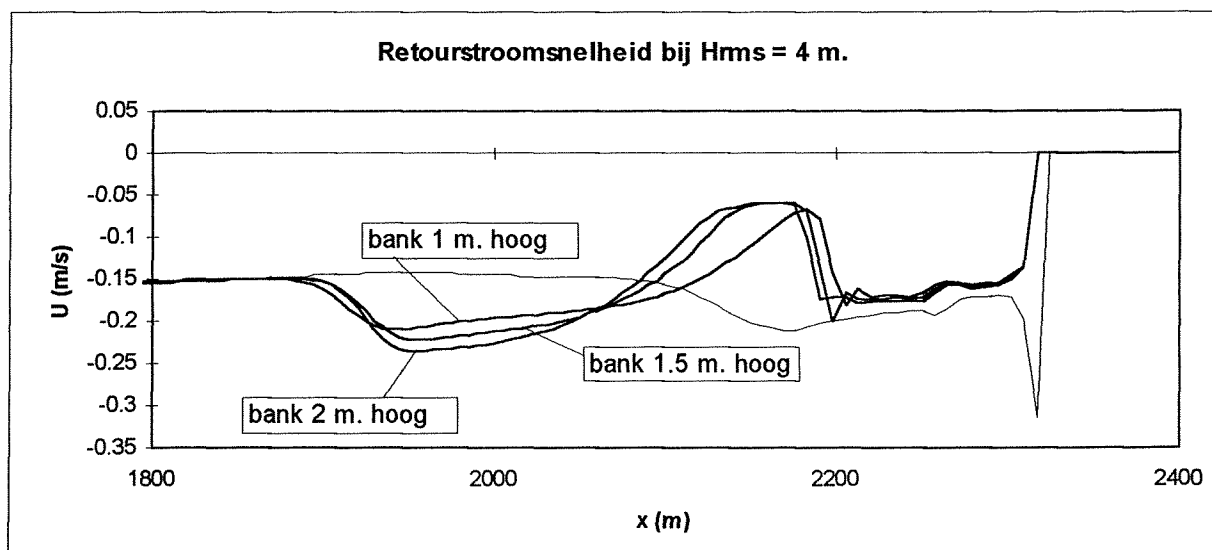


Fig. B 4.16 Retourstroomsnelheden bij $H_{rms} = 4$ m. voor 3 suppleties op -4 m.

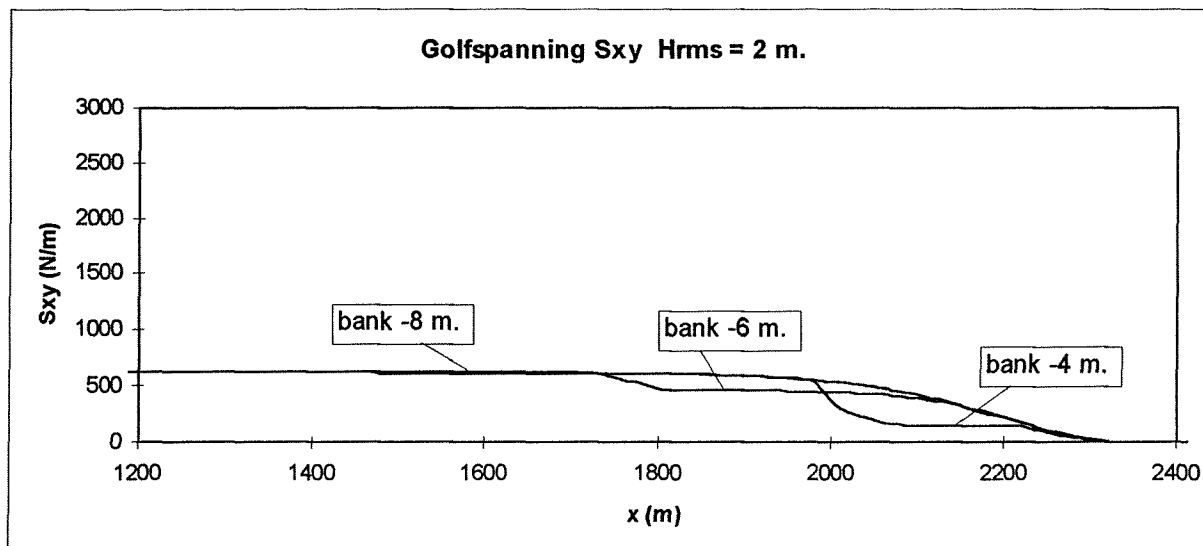


Fig. B 4.18 Golfspanning bij $H_{rms} = 2$ m voor suppleties op -4, -6 en -8 m

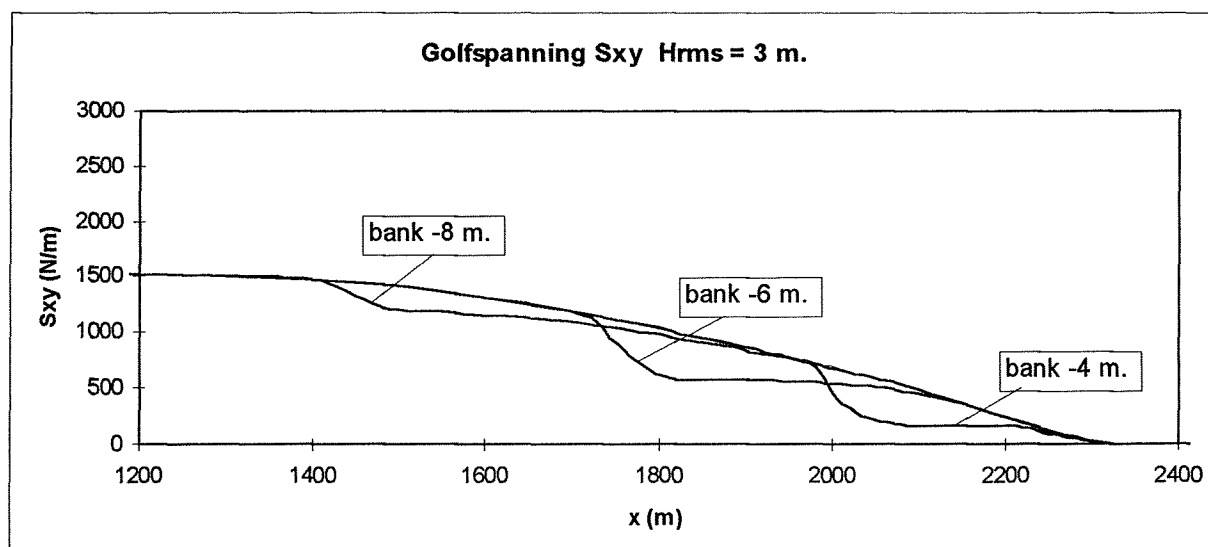


Fig. B 4.19 Golfspanning bij $H_{rms} = 3$ m voor suppleties op -4, -6 en -8 m

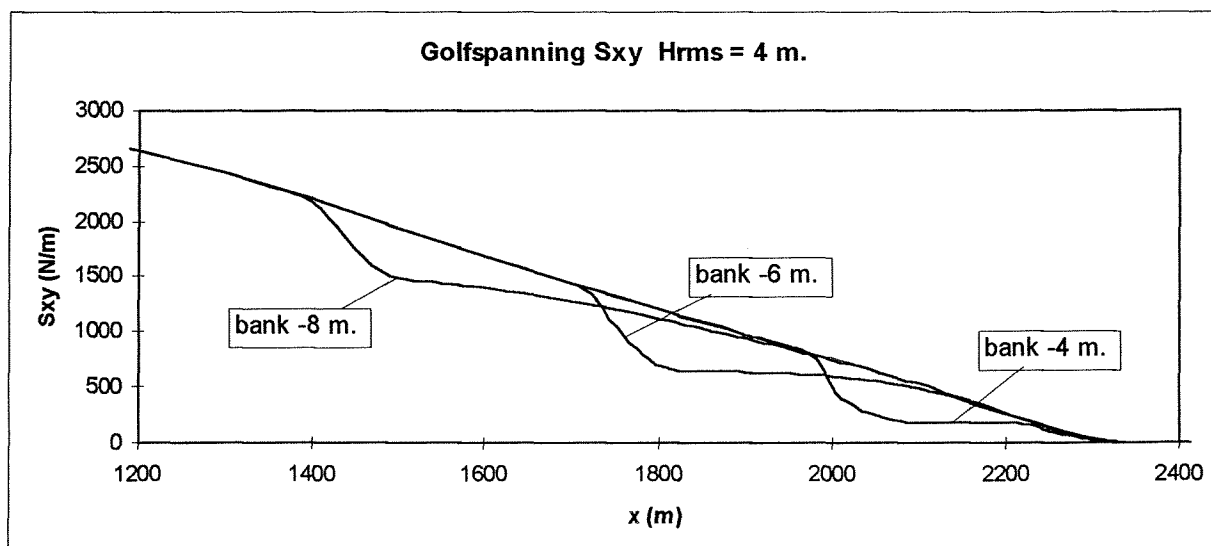


Fig. B 4.20 Golfspanning bij $H_{rms} = 4$ m voor suppleties op -4, -6 en -8 m

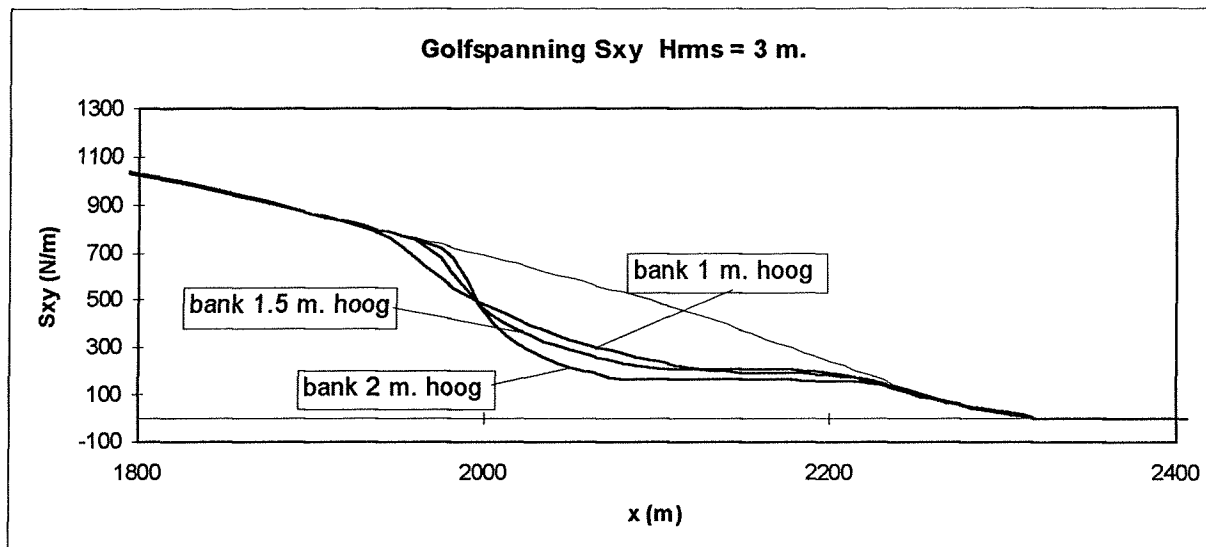


Fig. B 4.23 Golfspanning bij $H_{rms} = 3$ m voor 3 suppleties op -4 m

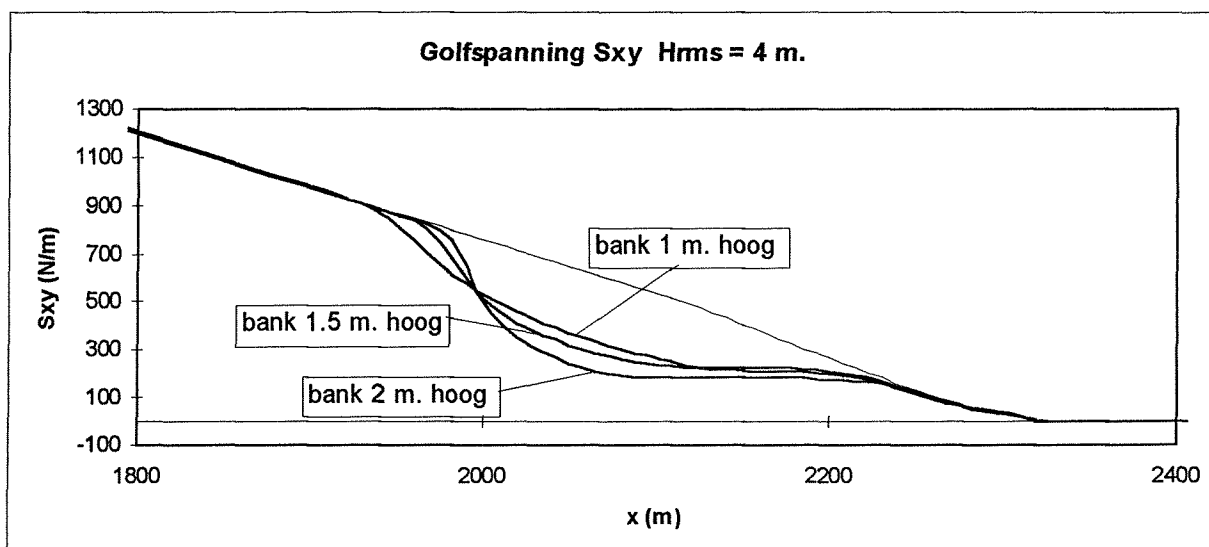
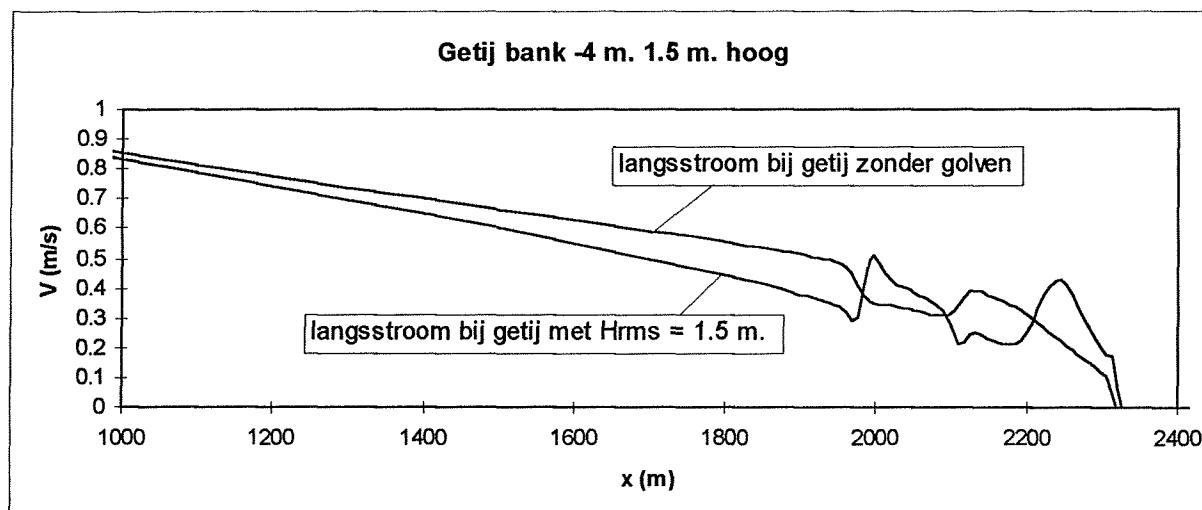
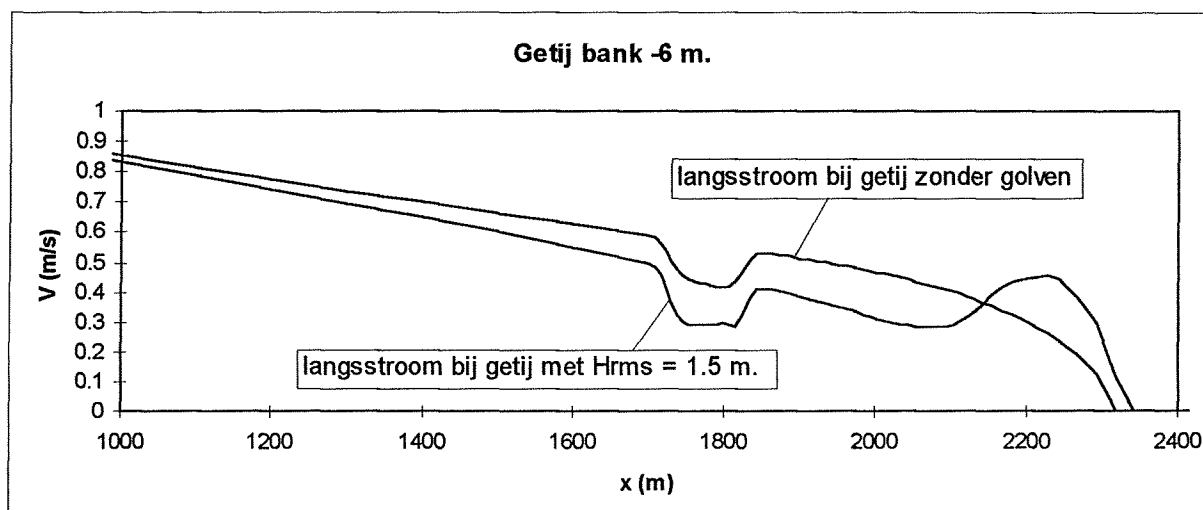
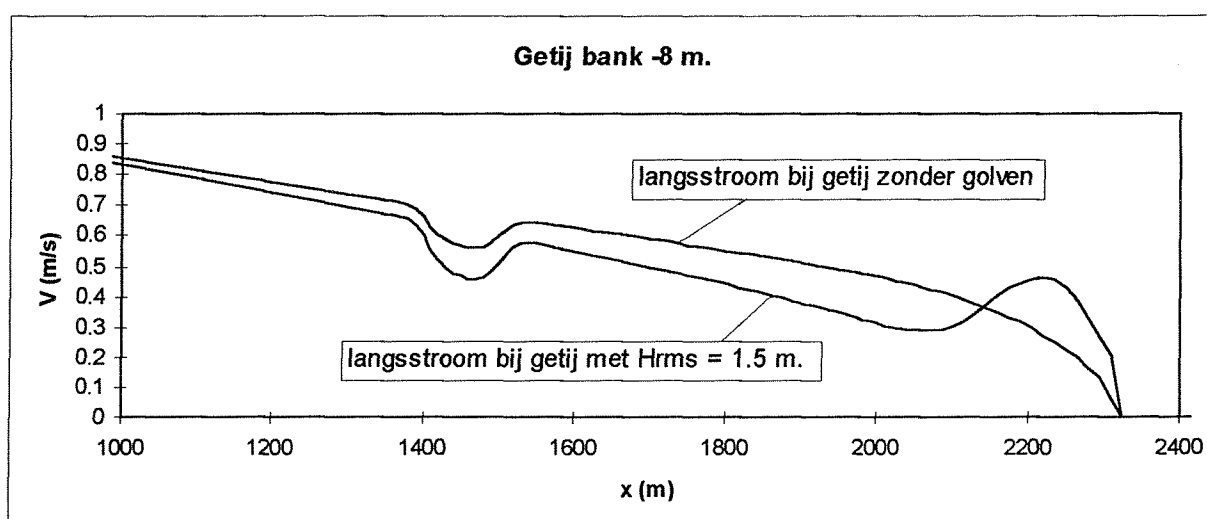


Fig. B 4.24 Golfspanning bij $H_{rms} = 4$ m voor 3 suppleties op -4 m

Bij de verschillende suppleties op -4 m is het verloop van de grafieken voorspelbaar: op de hoogste suppletie (2 m) breken de meeste golven wat de sterkste daling in golfspanning met zich meebrengt. Aan de landzijde van de suppletie geeft de hoogste suppletie ook de langste horizontale lijn wat betekent dat daar het minste golven breken en dus de kleinste langsstroom optreedt.

Fig. B 4.28 *Langsstroom met getij bij bank op -4 m, 1.5 m hoog*Fig. B 4.29 *Langsstroom met getij bij bank op -6 m*Fig. B 4.30 *Langsstroom met getij bij bank op -8 m*

Getij richting tegenovergesteld aan golfrichting

Voor het geval dat de richting van de getijstroom tegenovergesteld is aan die van de langs-

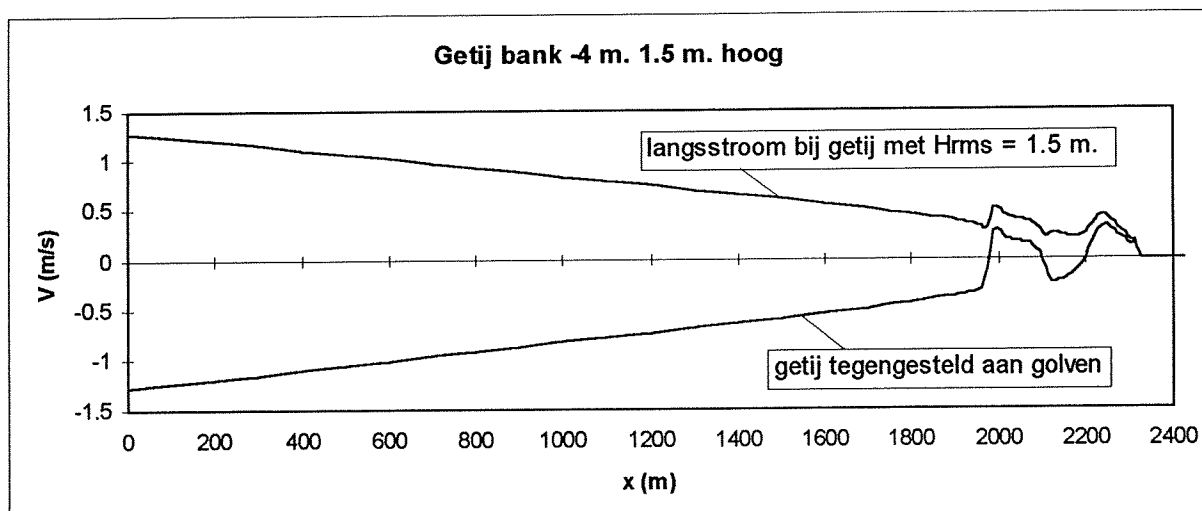


Fig. B 4.34 *Langsstroom met getij in tegengestelde richting bij bank op -4 m, 1.5 m hoog*

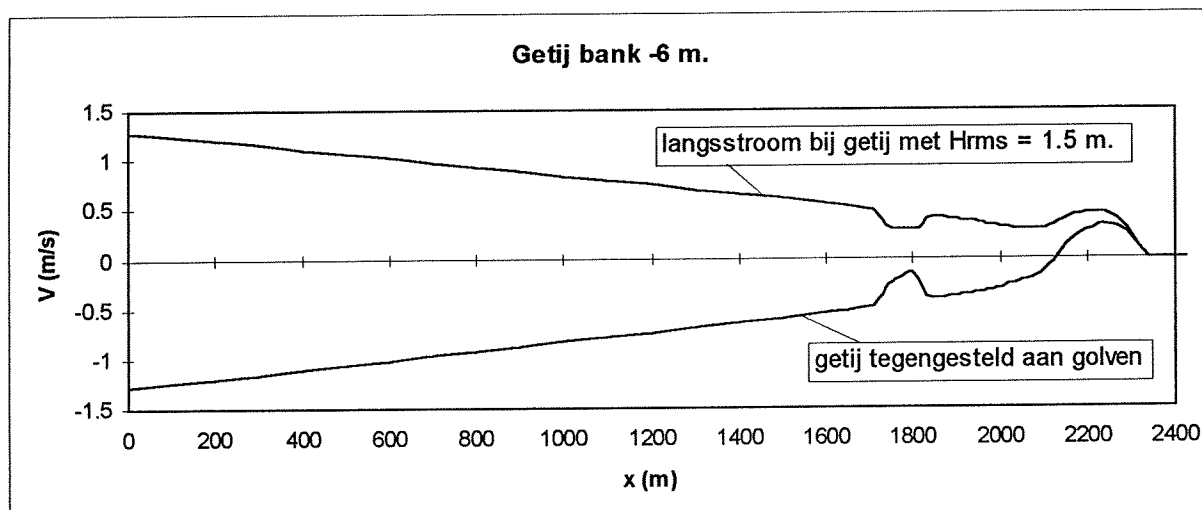


Fig. B 4.35 *Langsstroom met getij in tegengestelde richting bij bank op -6 m*

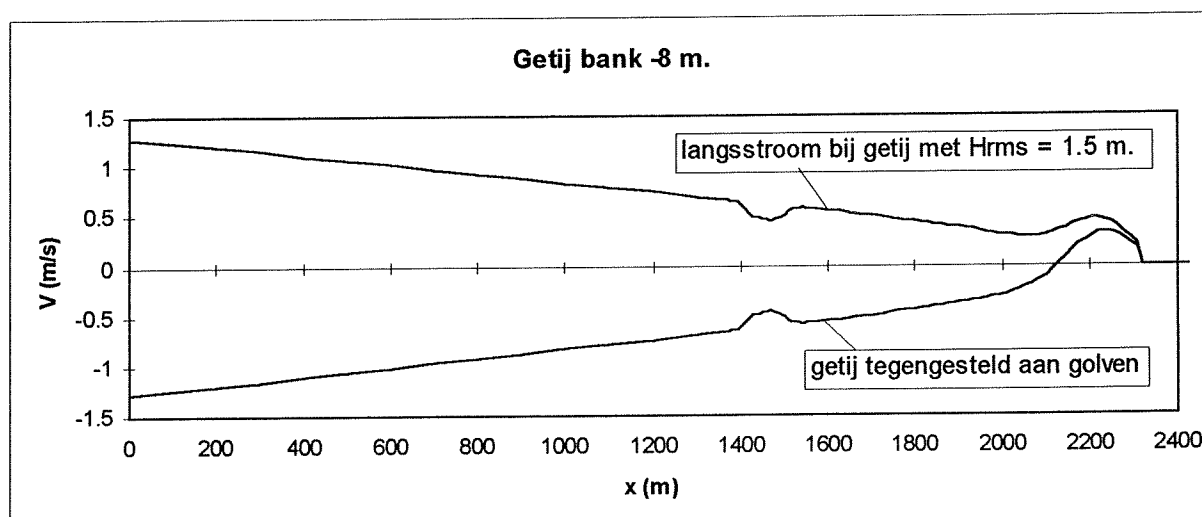


Fig. B 4.36 *Langsstroom met getij in tegengestelde richting bij bank op -8 m*

Wat vooral is op te merken is dat bij de suppleties op -4 m de langsstroom op de suppletie positief is, terwijl de stroming direct aan de landzijde weer even negatief wordt.

Bijlage 5 : Zandtransporten bij een vooroeversuppletie

Bijlage 5: Zandtransporten bij een vooroeversuppletie

In deze bijlage staan de transportvolumes die zijn uitgerekend met de UNIBEST modules TC en LT.

5.1 Dwarstransport

In tabel B 5.1 staan de volumes in de BKL*-zone vermeld in de initiële situatie en nadat de profielen onder invloed van het golfveld van 1 jaar hebben gestaan.

<i>Volume in BKL*-zone (m^3/m')</i>	t = 0	t = 1 jaar
basisprofiel	795.1	746.6
42bank	867.4	853.6
415bank	851.8	834.5
41bank	903.1	967.0
62bank	795.4	781.4
82bank	795.2	757.0

Tabel B 5.1 Volumes in de BKL*-zone

In tabel B 5.2 staan de volumes op de suppleties op t = 0 en na 1 jaar. De grens van deze volumes ligt op een diepte van 10 m onder gemiddeld zeeniveau. Met deze waarden kan bepaald worden hoeveel zand van de suppletie verplaatst wordt.

<i>Volume op suppleties (m^3/m')</i>	t = 0	t = 1 jaar	verschil
42bank	950.2	761.6	188.6
415bank	1090.2	921.7	168.5
41bank	1493.1	1326.7	166.4
62bank	700.3	505.1	195.2
82bank	438.0	323.7	114.3

Tabel B 5.2 Volumes op de suppleties

Tabel B 5.3 geeft de waarden van de volumes in de gebieden aan landzijde van de suppleties na de invloed van een golfveld van 1 jaar. De tweede kolom waarden geeft de volumes in dezelfde gebieden na 1 jaar in het basisprofiel. Met deze waarden wordt bepaald hoeveel zand er van de suppleties landwaarts wordt getransporteerd. De ondergrens ligt weer op -10 m.

<i>Volume aan landzijde (m^3/m')</i>	volume in suppletieprofiel	volume in basisprofiel	verschil
42bank	2689.9	2596.4	93.5
415bank	2592.2	2521.1	71.1
41bank	2389.3	2300.7	88.6
62bank	4063.8	4023.3	40.5
82bank	5093.4	5095.0	-1.6

Tabel B 5.3 Volumes aan landzijde van de suppleties na 1 jaar

Bijlage 6 : Parameters voor aanzanding en erosie

Bijlage 6: Parameters voor aanzanding en erosie

Voor de aanzanding en erosie aan de landzijde van de suppleties in hoofdstuk 6 worden in tabel B 6.1 per golfrichtingssector alle waarden van de parameters y_1 , y_2 , ΔS_y en L^* gegeven.

y_1 (m langs de kust, zuideinde suppletie = 0)

Richting	80°	55°	25°	-5°	-35°	-65°
42bank	1200	300	100	-20	-150	-450
415bank	1130	285	95	-20	-140	-425
41bank	945	235	75	-15	-115	-355
62bank	2735	690	225	-45	-340	-1030
82bank	4550	1145	375	-70	-560	-1720

Tabel B 6.1a y_1

y_2 (m langs de kust, zuideinde suppletie = 0)

Richting	80°	55°	25°	-5°	-35°	-65°
42bank	3200	2300	2100	1980	1850	1550
415bank	3130	2285	2095	1980	1860	1575
41bank	2945	2235	2275	1985	1885	1645
62bank	4735	2690	2225	1955	1660	970
82bank	6550	3145	2375	1930	1440	280

Tabel B 6.1b y_2

ΔS_y (m³/m')

Richting	80°	55°	25°	-5°	-35°	-65°
42bank	8000	76000	49000	-10000	-48000	-31000
415bank	5000	39000	35000	-7000	-32000	-22000
41bank	4000	33000	27000	-6000	-27000	-18000
62bank	1000	49000	52000	-10000	-35000	-21000
82bank	1000	19000	28000	-8000	-23000	-9000

Tabel B 6.1c Verschil in transport tussen het basisprofiel en het suppletieprofiel

L^* (m)

Richting	80°	55°	25°	-5°	-35°	-65°
42bank	275	206	206	46	160	275
415bank	170	149	149	43	128	213
41bank	120	120	120	40	120	180
62bank	224	336	298	75	298	410
82bank	405	506	405	101	456	506

Tabel B 6.1d Overgangslengte tussen twee transporten.

De richtingssector -85° is telkens weggelaten omdat er geen verschil in transporten is tussen het basisprofiel en de suppletieprofielen, er treedt dus ook geen gradiënt op.