

Oprichtgever:  
Dienst Weg- en Waterbouwkunde namens  
Werkgroep C van de Technische Adviescommissie  
voor de Waterkeringen

## 3D-effecten

Formulering pragmatisch balansmodel

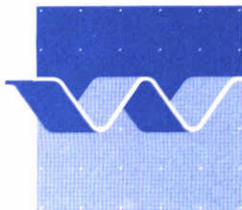
Verslag onderzoek

Juni 1996

# 3D-effecten

Formulering pragmatisch balansmodel

H.J. Steetzel



1. Rapport nr.  H2174	2. Serie nr.  TAW-C	3. Ontvanger catalogus nummer	
4. Titel en sub-titel 3D-effecten; Formulering pragmatisch balansmodel		5. Datum rapport  juni 1996	
		6. Kode uitvoerende organisatie  H2174	
7. Schrijvers  dr.ir. H.J. Steetzel		8. Nr. rapport uitvoerende organisatie  H2174	
9. Naam en adres opdrachtnemer  Waterloopkundig Laboratorium Postbus 152 8300 AD Emmeloord		10. Projektnaam	
		11. Kontraktnummer  DWW-872	
12. Naam en adres opdrachtgever  Rijkswaterstaat Dienst Weg- en Waterbouwkunde Postbus 5044, 2600 GA Delft		13. Type rapport  Verslag onderzoek	
		14. Kode andere opdrachtgever	
15. Opmerkingen  WL-projektleider : H.J. Steetzel DWW-projektleider: A.W. Kraak / A.P. de Looff			
16. Referaat  In dit rapport is een eerste aanzet gegeven tot het formuleren van een balansmodel waarmee de effecten van langsvariaties op de hoeveelheid afslag kunnen worden afgeschat.			
17. Trefwoorden  duinafslag, constructies		18. Distributie systeem	
19. Classificatie  Vrij toegankelijk	20. Classificatie deze pagina	21. Aantal blz.	22. Prijs

# Inhoud

## Lijst van figuren

	blz.
<b>1 Inleiding</b> .....	1
1.1 Achtergrond en doel .....	1
1.2 Aanpak .....	1
1.3 Opdracht .....	1
1.4 Opzet rapport .....	1
<b>2 Uitgangspunten</b> .....	3
2.1 Inleiding .....	3
2.2 Laagschematisatie .....	3
2.3 Interim-onderzoeksmodel .....	4
2.4 Definitief rekenmodel .....	4
<b>3 Uitwerking modelconcept</b> .....	5
3.1 Inleiding .....	5
3.2 Balansvergelijkingen .....	5
3.3 Dwarstransport .....	6
3.4 Langstransport .....	10
3.5 Conclusies .....	10
<b>4 Modelleren storm</b> .....	11
4.1 Inleiding .....	11
4.2 Aanpassing dwarstransportconstante .....	11
4.3 Aanpassing evenwichtsafstanden .....	11
4.4 Toepassing .....	11
<b>5 Effect constructies</b> .....	15
5.1 Inleiding .....	15
5.2 Modelleren harde constructie .....	15
5.3 Effect harde constructie .....	15
5.4 Effect overgangsconstructie .....	18
5.5 Verdere verkenning .....	20
5.6 Conclusies .....	22

## Inhoud (vervolg)

		blz.
<b>6</b>	<b>Verkenning andere effecten</b> .....	23
6.1	Inleiding .....	23
6.2	Langsvariaties in de vooroever .....	23
6.3	Langsvariaties in de duinhoogte .....	26
6.4	Conclusies .....	27
<b>7</b>	<b>Slotopmerkingen</b> .....	29
7.1	Algemeen .....	29
7.2	Conclusies .....	29
7.3	Aanbevelingen .....	29
7.4	Aandachtspunten .....	29

## Referenties

## Lijst van figuren

- 2.1 Laagschematisatie kustprofiel
  
- 3.1 Overzicht gebruikte definities
- 3.2 Schematisatie evenwichtsvorm
- 3.3 Uitgangssituatie met laagschematisatie
  
- 4.1 Bovenaanzicht laagverplaatsingen a.g.v. storm
- 4.2 Dwarsprofielontwikkeling a.g.v. storm
- 4.3 Dwarsprofielontwikkeling a.g.v. storm: stabiel eindprofiel na 1000 uur
  
- 5.1 Bovenaanzicht laagverplaatsingen voor harde constructie
- 5.2 Dwarsprofielontwikkeling voor harde constructie
- 5.3 Detailvergelijking relatief effect harde constructie op dwarsprofielontwikkeling
- 5.4 Bovenaanzicht overgang harde constructie naar duin
- 5.5 Aanzicht overgang harde constructie naar duin
- 5.6 Bovenaanzicht laagverplaatsingen t.p.v. de overgang van constructie naar duin
- 5.7 Detailvergelijking relatief effect constructie-overgang op dwarsprofielontwikkeling
- 5.8 Aanzicht overgang harde constructie naar duin na storm
- 5.9 Bovenaanzicht opening in doorgaande harde constructie
- 5.10 Aanzicht opening in doorgaande dijk
- 5.11 Bovenaanzicht laagverplaatsingen t.p.v. de opening in doorgaande dijk
- 5.12 Detailvergelijking relatief effect constructieopening op dwarsprofielontwikkeling
- 5.13 Aanzicht opening in doorgaande dijk na storm
  
- 6.1 Bovenaanzicht schematisatie langsvariatie vooroever
- 6.2 Aanzicht langsvariatie in vooroever
- 6.3 Bovenaanzicht laagverplaatsingen bij langsvariatie in vooroeverligging
- 6.4 Detail langsverloop duinfront bij langsvariatie in vooroever
- 6.5 Bovenaanzicht schematisatie langsvariatie duinhoogte
- 6.6 Aanzicht langsvariatie in duinhoogte
- 6.7 Bovenaanzicht laagverplaatsingen bij langsvariatie in duinhoogte
- 6.8 Detail langsverloop duinfront bij langsvariatie in duinhoogte



# 1 Inleiding

## 1.1 Achtergrond en doel

Het huidige afslagmodel dat gebruikt wordt voor de toetsing van duinen is niet geschikt voor die gevallen waarbij drie-dimensionale processen een rol spelen. Dit is bijvoorbeeld het geval bij duinenkusten die sterk gekromd zijn (koppen van eilanden en de Zeeuwse kust), overgangen van duinen naar harde verdedigingen zoals dijken, bebouwing in de afslagzone en variaties in de vooroever (bijvoorbeeld bij platengebied) en/of duinhoogte. Met name de variaties in kustlangse richting kunnen met het huidige model niet verrekend worden.

Het doel van het onderhavige project is het ontwikkelen van een methode waarmee de veiligheid van de kust ook voor deze 'speciale gevallen' kan worden gekwantificeerd.

## 1.2 Aanpak

Conform de in deel II van het onderzoeksrapport inzake Bebouwingseisen gegeven aanbevelingen, is in het kader van de voorliggende studie een eerste invulling gegeven aan de formulering van een pragmatisch rekenmodel waarmee het effect van bouwwerken op de mate van duinafslag kan worden afgeschat [Steetzel, apr 1994].

Het ligt in de bedoeling het modelconcept in een vervolgstudie nog verder uit te werken. Het karakter van de modellering opent hierbij de mogelijkheid om het 'model' ook toe te passen voor andere situaties waarbij 3D-effecten een rol spelen. De oorspronkelijke beperking tot alleen bebouwing komt daarmee mogelijk te vervallen.

## 1.3 Opdracht

Op verzoek van Werkgroep C ('Zandige Kusten') van de Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen (TAW) en als mede verwoord in een offerte-aanvraag van de Dienst Wegen Waterbouwkunde met kenmerk WB-942687 d.d. 9 juni 1994, heeft het WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM een offerte uitgebracht met kenmerk HK4335/H2178/HJS/GD, d.d. 17 juni 1994 inzake een onderzoek naar de modellering van drie-dimensionale effecten tijdens duinafslag.

Door middel van brief WB/CX-943611 d.d. 21 juli 1994 werd, onder projectnummer DWW-872 opdracht verleend voor de uitvoering van deze studie, waarvan de resultaten van fase 2 in het voorliggende rapport beschreven zijn. In een later stadium werd de einddatum van deze fase van deze studie via wijzigingsovereenkomst DWW-872a aangepast.

Het onderzoek werd vanuit TAW Werkgroep C inhoudelijk begeleid door dr ir J. v.d. Graaff, ir J. van de Kolff en ing P. Roelse, terwijl namens de opdrachtgever RWS/DWW de begeleiding werd in eerste instantie verzorgd door ir A.W. Kraak en later door ir A.P. de Looff.

Het onderzoek werd uitgevoerd door dr ir H.J. Steetzel, die tevens verantwoordelijk is voor deze verslaggeving.



## 1.4 Opzet rapport

In *Hoofdstuk 2* zijn eerst enkele uitgangspunten van het voorliggende probleem samengebracht, waarna in *Hoofdstuk 3* een nadere uitwerking is gegeven van het gehanteerde modelconcept.

*Hoofdstuk 4* gaat vervolgens in op de wijze waarop het dwarstransport onder invloed van een storm is gemodelleerd. De beoogde toepassing voor een situatie met een harde constructie komt in *Hoofdstuk 5* aan de orde.

In *Hoofdstuk 6* wordt vervolgens kort ingegaan op de toepasbaarheid van het modelconcept voor andere 3D-gevallen, waarna in *Hoofdstuk 7* de conclusies en aanbevelingen van dit onderzoek zijn samengebracht.

## 2 Uitgangspunten

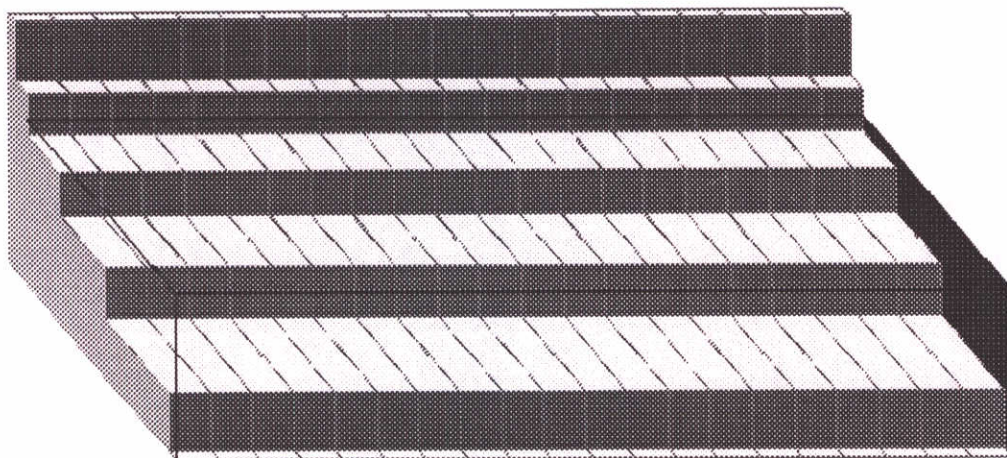
### 2.1 Inleiding

In het volgende zijn enkele uitgangspunten en aannamen samengebracht, dit met als achtergrond om binnen deze studiefase te komen tot een verkenning van de toepasbaarheid van een model-concept waarbij naast het effect van dwarstransport ook de effecten van langsvaariaties kunnen worden verrekend.

### 2.2 Laagschematisatie

De gewenste modellering dient gericht te zijn op de schematisatie van zowel de uitwisseling in dwarsrichting tussen de verschillende te definiëren lagen in het dwarsprofiel als een uitwisseling in langsrichting tussen kustvakken. In eerste instantie is daarbij zoveel mogelijk aangesloten op de in de voorstudie naar effecten van bebouwing gehanteerde laag/vakschematisaties.

Omdat, met name bij een sterk dwarstransport-gedomineerd proces, de golfhoogte een belangrijke rol speelt, en dus de transportintensiteit gekoppeld is aan de relatieve waterdiepte, ligt een schematisatie van het dwarsprofiel in meerdere lagen voor de hand. Dit sluit ook aan bij de wens om, in ieder geval in eerste instantie, te komen tot een relatief eenvoudig balansmodel.



Figuur 2.1 Laagschematisatie kustprofiel

Figuur 2.1 geeft een 'zeewaarts aanzicht' van de schematisatie in verschillende (in dit geval 5) horizontale lagen. Elke laag wordt daarbij gekarakteriseerd door een ligging ten opzichte van de kust. In langsrichting is er sprake van meerdere (reken)cellen.

## 2.3 Interim-onderzoeksmodel

Teneinde een snelle verkenning van het concept uit te voeren en (on)mogelijkheden van de modellering in kaart te brengen is gekozen voor een vrij pragmatische aanpak. Hierbij is qua modellering in eerste instantie aangesloten op een in een ander kader reeds opgestarte ontwikkeling [Steetzel, mei 1995].

Het hier gebruikte (interim)-onderzoeksmodel wordt daarbij gevormd door een gemodificeerde versie van het lange-termijn gedragsmodel zoals dat ten behoeve van de Kustnota van 1995 is ontwikkeld. Het gebruik is daarbij in de huidige toepassing juist gericht op de korte termijn.

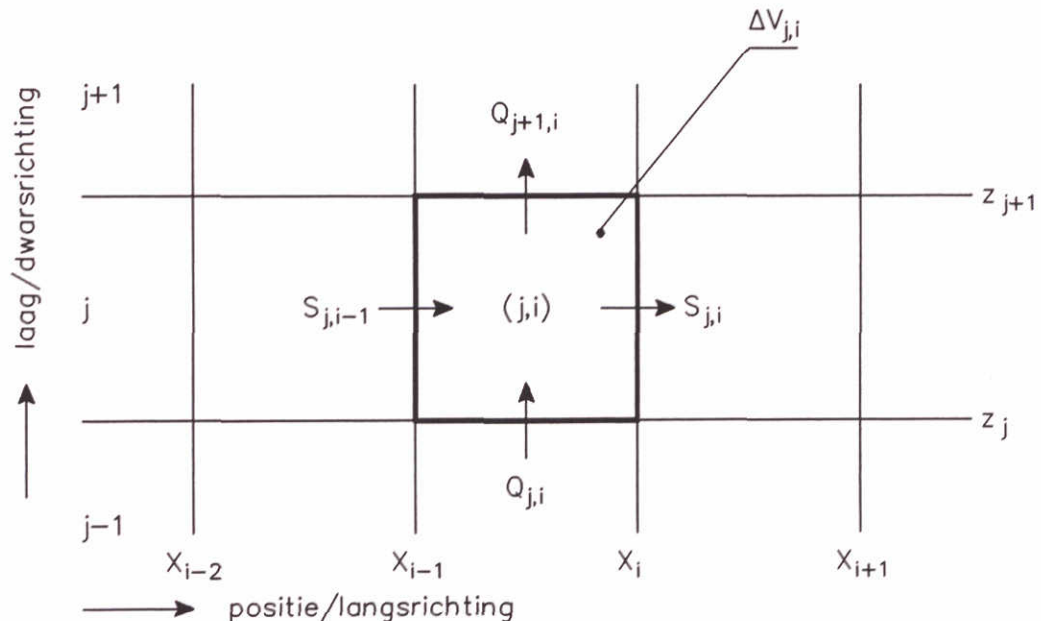
## 2.4 Definitief rekenmodel

Ten aanzien van een speciale gebruikers-versie van het rekenmodel, wordt aanbevolen de ontwikkeling hiervan in het licht te zien van het uiteindelijke gebruik voor de toetsing conform het nog te verschijnen Technische Rapport Duinafslag.

### 3 Uitwerkingen modelonderzoek

#### 3.1 Inleiding

In het volgende is kort ingegaan op de gebruikte balansvergelijkingen. In Figuur 3.1 zijn de gebruikte definities schematisch weergegeven.



Figuur 3.1 Overzicht gebruikte definities

De voor dit stelsel van vergelijkingen gebruikte oplosprocedure sluit aan bij de methode als beschreven in [Steezel, mei 1995].

#### 3.2 Balansvergelijkingen

Beschouwing van een individuele cel met afmeting  $\Delta x_i (= x_i - x_{i-1})$  in langsrichting, levert aan mogelijke volumetoename  $\Delta Vol$  per tijdseenheid  $\Delta t$ :

$$\frac{\Delta Vol_{j,i}}{\Delta t} = (S_{j,i-1} - S_{j,i}) + (Q_{j,i} - Q_{j+1,i}) \quad (3.2.1)$$

waarin  $S$  en  $Q$  respectievelijk het transport in langs- en dwarsrichting.

Als volgens het gekozen model-concept de volumetoename  $\Delta Vol_{j,i}$  in rekencel  $i$  wordt uitgedrukt in een zeewaartse verschuiving van laag  $j$  in  $y$ -richting volgens:

$$\Delta y_{j,i} = \frac{\Delta Vol_{j,i}}{\Delta x_i d_{j,i}} \quad (3.2.2)$$

waarin  $d_{j,i}$  de laagdikte (laag  $j$ , vak  $i$ ), dan volgt na substitutie:

$$\frac{\Delta y_{j,i}}{\Delta t} = \frac{1}{d_{j,i}} \frac{S_{j,i-1} - S_{j,i}}{\Delta x_i} + \frac{1}{d_{j,i}} \frac{Q_{j,i} - Q_{j+1,i}}{\Delta x_i} \quad (3.2.3)$$

Voor een specifieke cel (met weglating van plaatsindex  $i$ ) volgt de verschuiving van laag met volgnummer  $j$  (uitgedrukt in  $\Delta y_j / \Delta t$ ) dan uit:

$$\frac{\Delta y_j}{\Delta t} + \frac{1}{d_j} \frac{\Delta S_j}{\Delta x} + \frac{\Delta q_j}{d_j} = 0 \quad (3.2.4)$$

en is daarbij dus afhankelijk van de (lokale) laagdikte  $d_j$ , de langtransportgradiënt  $\Delta S_j / \Delta x$  en het transportverschil in dwarsrichting  $\Delta q_j = q_{j+1} - q_j$  (per  $m^1$ ).

Uitwerking voor meerdere lagen levert als lokale vergelijking:

$$\frac{\Delta y_j}{\Delta t} + \frac{1}{d_j} \frac{\Delta S_j}{\Delta x} + \frac{q_{j+1} - q_j}{d_j} = 0 \quad (3.2.5)$$

waarin  $q$  het dwarstransport vertegenwoordigt. Een positieve waarde van  $q_j$  impliceert een verlies van materiaal in laag  $j-1$  en materiaalwinst voor laag  $j$ .

### 3.3 Dwarstransport

De dwarsuitwisseling tussen twee lagen is gerelateerd aan de afwijking van het aanwezige dwarsprofiel ten opzichte van een evenwichtsprofiel.

Uitgaande van dit concept wordt het momentane dwarstransport  $q$  in algemene termen bepaald door een maat welke karakteristiek is voor de evenwichtssituatie en een parameter welke iets zegt over de snelheid waarmee afwijkingen van deze evenwichtssituatie worden gecorrigeerd.

Het dwarstransport  $q_j$  (uitgedrukt in  $m^3/m^1/$ uur) tussen twee lagen (van laag  $j-1$  naar laag  $j$  ter plaatse van niveau  $Z_j$ ) wordt in een lineaire benadering beschreven door:

$$q_j = b_j (W_j - \Delta y_j) \quad (3.3.1)$$

waarin  $W_j$  de evenwichtsafstand en  $\Delta y_j (= y_j - y_{j-1})$  de aanwezige afstand tussen de beschouwde lagen/lijnen.

In het geval van een te kleine afstand, dus  $\Delta y_j < W_j$  en dus een relatief te steil dwarsprofiel, is sprake van een positief zeewaarts gericht transport ( $q_j > 0$ ) en zal door verplaatsing van materiaal van laag  $j-1$  naar laag  $j$  een minder steil profiel ontstaan. Voor het geval van een te flauw profiel geldt natuurlijk het tegenovergestelde. Het eerste geval zal voor de bovenste lagen aanleiding geven tot transport uit het duinfront en dus tot duinafslag.

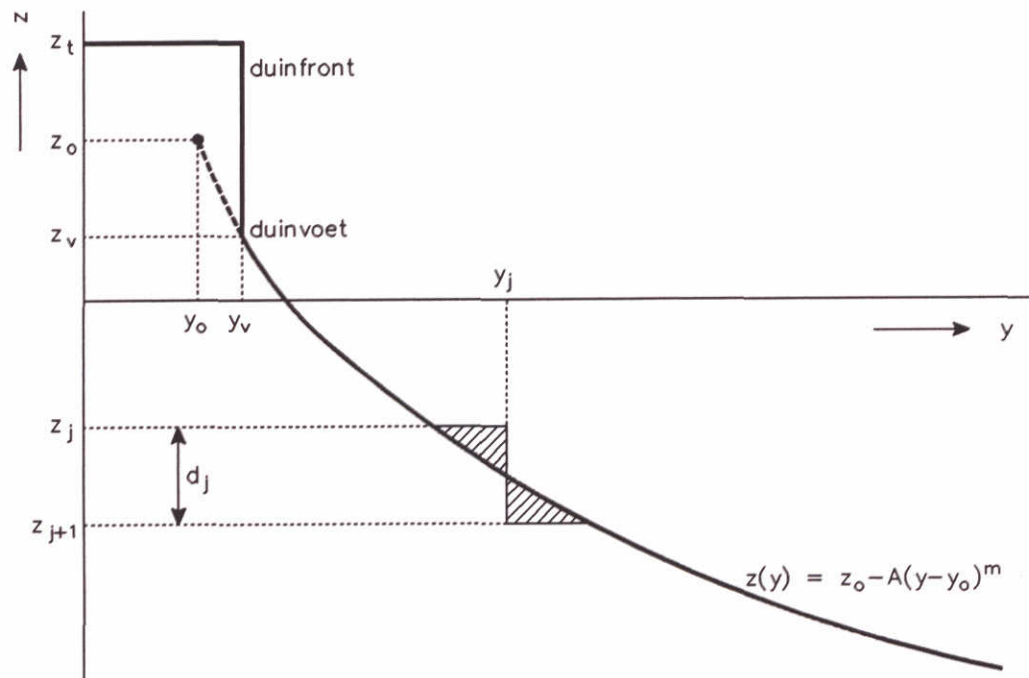
Uitgeschreven geldt dus:

$$q_j = b_j (y_{j-1} - y_j + W_j) \quad (3.3.2)$$

Het dwarstransport hangt daarbij dus zowel af van een evenwichtsafstand als van een evenredigheidsfactor.

De *evenwichtsafstand*  $W_j$  is, bij gegeven laagdefinities, afhankelijk van de aanwezige korrelkarakteristieken (zeg fijn of grof zand) en de hydraulische omstandigheden. In het geval van een in evenwicht verkerend dwarsprofiel is de waarde van het afstandsverschil tussen twee lijnen per definitie gelijk aan de evenwichtsafstand.

Gegeven een beschrijving van de vorm van het evenwichtsprofiel als schematisch aangegeven in Figuur 3.2, kan de grootte van de laagafhankelijke evenwichtsafstand eenvoudig worden afgeleid [Steezel, mei 1995].



Figuur 3.2 Schematisatie evenwichtsvorm

Het evenwichtsprofiel  $z_e(y)$  kan in eerste benadering worden beschreven door een analytische uitdrukking welke in zeer algemene termen luidt:

$$z_e(y) = \mathbf{F}\{y\} \quad (3.3.3)$$

waarin  $z_e$  de evenwichtsligging van de bodem op ordinaat  $y$  vanaf een referentielijn.

Omdat het bij een zandig kustprofiel veelal gaat om een samenhangend systeem van vooroever, strand en duin (actief deel van het kustprofiel), is voor de analytische beschrijving van het evenwichtsprofiel uitgegaan van twee afzonderlijke delen, te weten:

- een duinprofiel met een (gemakshalve) verticaal duinfront;
- een concaaf profiel volgens een machtsfunctie.

Het overgangsniveau van het verticale en het hellende deel van het dwarsprofiel is gelegen in de duinvoet en wel op het niveau  $z = z_v$ .

De top van het duinprofiel is gelegen op het niveau  $z = z_t$ , waarmee het duinfront dus een hoogte (laagdikte) heeft van  $d_d = z_t - z_v$ .

Het concave deel van het kustprofiel (voor  $z \leq z_v$ ) wordt geacht te worden beschreven door een machtsfunctie welke luidt:

$$z(y) = z_o - A (y - y_o)^m \quad (3.3.4)$$

ofwel:

$$y(z) = y_o + \left( \frac{z_o - z}{A} \right)^{1/m} \quad (3.3.5)$$

waarbij het nulpunt van deze functie is gelegen in  $(y_o, z_o)$  met natuurlijk  $z_o \geq z_v$ .

De niet-dimensieloze parameter  $A$  in deze formulering is onder andere afhankelijk van de korreldiameter en de gemiddelde hydraulische condities. Voor de macht  $m$  geldt als orde-van-grootte  $0,5 < m < 0,8$ .

De positie van het duinvoet  $y_v$  volgt voor gegeven duinvoetniveau  $z_v$  uit:

$$z(y_v) = z_o - A (y_v - y_o)^m = z_v$$

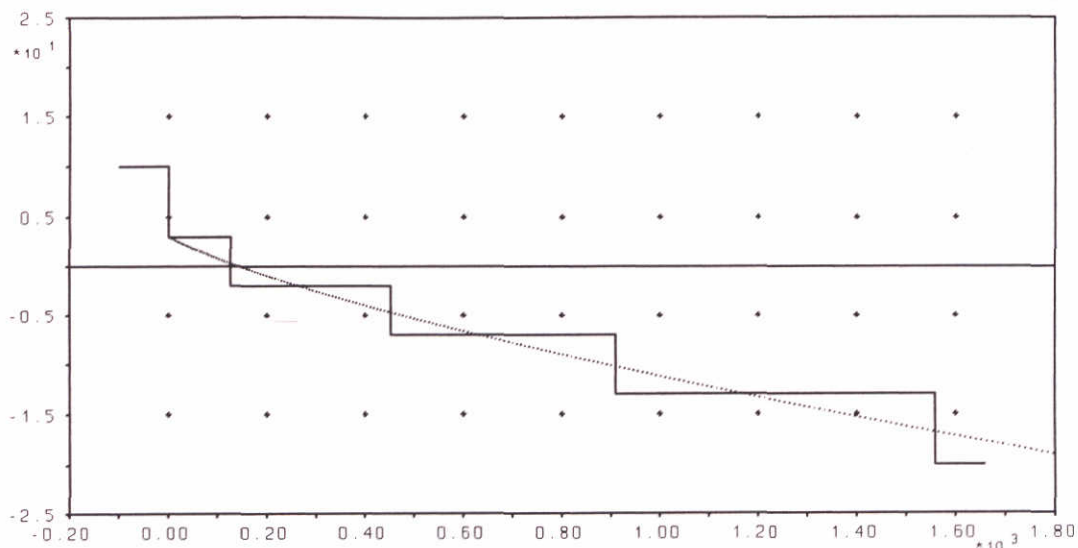
ofwel:

$$y_v = y_o + \left( \frac{z_o - z_v}{A} \right)^{1/m} \quad (3.3.6)$$

Op deze wijze ligt het dwarsprofiel voor de 'normale situatie' vast (zie Figuur 3.2).

Bij de verdere uitwerkingen is gebruik gemaakt van  $m = 0,67$  voor de macht en  $A = 0,16 \text{ m}^{0,33}$ .

Verder is aangenomen dat  $z_v = h + 3,0$  m en  $z_o = z_v + 3,0$  m, zodat het nulpunt van het machtsprofiel op  $y_o = 79,4$  m achter de duinvoet ligt. Het aldus gedefinieerde dwarsprofiel is gegeven in Figuur 3.3.



Figuur 3.3 Uitgangssituatie met laagschematisatie

Gegeven deze beschrijving kan de positie van een bepaalde laag en de bij een bepaald niveau behorende evenwichtsafstanden eenvoudig worden berekend. In [Steetzel, mei 1995] is hiervoor een analytische uitdrukking gegeven.

De *evenredigheidsfactor*  $b_j$ , met  $b_j \geq 0$ , zegt iets over de snelheid van de aanpassing en is uitgedrukt in  $m^2/m/$ uur of  $m/$ uur. De waarde is sterk afhankelijk van de relatieve diepteligging van het niveau van het scheidingsvlak ten opzichte van de golfhoogte. Enige overwegingen aangaande deze relatie zijn gegeven in [Steetzel, nov 1995].

De grootte van deze factor is afgeschat door uitgaande van een quasi-evenwichtsprofiel, de verticale verdeling van de grootte van het dwarstransport te berekenen voor een reeks relatief samengetrokken (en dus te steile) beginprofielen.

Uit deze bewerking kwam naar voren dat de verticale verdeling van het dwarstransport gelijkenis vertoonde met een driehoeksvorm, waarbij de grootte van het transport als functie van de waterdiepte  $q(d)$  een lineair verband vertoont tussen de maximale waarde rond de waterlijn, met  $q(0) = \hat{q}$ , en een waarde van nul op een waterdiepte gelijk aan orde drie maal de golfhoogte, dus  $q(d = 3H_s) = 0$ .

De referentiewaarde van het transport op het niveau van de waterlijn blijkt daarbij slechts evenredig met de grootte van de gebruikte samentrekkingsfactor  $\alpha$  (met  $\alpha < 1$  voor een te steil dwarsprofiel) en feitelijk onafhankelijk van de grootte van de golf, ofwel:

$$q(0) = \hat{q} (1 - \alpha) \quad (3.3.7)$$

Met  $\alpha = \Delta y / W$  als maat voor de samentrekking van een dwarsprofiel levert dit:

$$q(0) = \frac{\hat{q}}{W} (W - \Delta y) \quad (3.3.8)$$



De grootte van de gezochte constante volgt na combinatie met Vgl.(3.3.1) vervolgens uit:

$$b_j = \frac{\hat{q}(z_j)}{W_j} \quad (3.3.9)$$

waarin  $\hat{q}(z_j)$  de op basis van de diepte gecorrigeerde  $\hat{q}$ -waarde.

Voor de grootte van de basiswaarde is uitgegaan van  $\hat{q} = 0,2 \text{ m}^3/\text{m}^1/\text{uur}$  (=  $1600 \text{ m}^3/\text{m}^1/\text{jaar}$ ) [Steetzel, aug 1996]. Voor de uitwisseling tussen laag 1 en 2 levert dit voor  $W_2 = 200 \text{ m}$  orde  $5 \text{ m}/\text{jaar}$  als waarde voor deze coëfficiënt. Voor meer achtergronden aangaande deze 'dwarstransportmodellering' kan worden verwezen naar [Steetzel, aug 1996].

### 3.4 Langtransport

Het langtransport  $S$  (in  $\text{m}^3/\text{uur}$ ) is afhankelijk van het horizontale getij, de door golfinval geïnduceerde langsstroom en de zijdelingse uitwisseling als gevolg van niveauverschillen.

De grootte van de golfbijdrage is daarbij afhankelijk van de (relatieve) hoek van golfinval en hangt derhalve samen met de lokale oriëntatie van de betrokken laag.

De zijdelingse uitwisseling als gevolg van niveauverschillen tussen naastgelegen cellen hangt, uitgaande van een schematisatie in lagen, eveneens samen met deze hoek.

Rekening houdend met deze bijdragen kan het langtransport worden geschematiseerd als:

$$S_j = S_j^o + a_j (\phi_{o,j} - \phi_j) \quad (3.4.1)$$

waarin  $a$  en  $\phi_o$  waarden voor respectievelijk de grootte van de evenredigheidsconstante en de evenwichts- of 'nultransport'-hoek, welke in deze versie een positief transport levert voor  $\phi < \phi_o$ . In de grootte van de evenredigheidsconstante is daarbij zowel de afhankelijkheid van de hoek van golfinval (golfgedreven langtransport) als de langsuitwisseling onder invloed van een niveauverschil ondergebracht.

Voor het geval van loodrechte golfinval geldt  $\phi_o = 0^\circ$ .

Ten aanzien van de grootte van de evenredigheidscoëfficiënt is met name de grootte van de niveauverschil-gerelateerde bijdrage nog niet duidelijk.

### 3.5 Conclusies

Ofschoon een meer kwantitatieve invulling voor de verschillende parameters, met name van de dwars- en langtransportconstanten, nog zal moeten plaatsvinden, kan op basis van de gegeven schematisatie wel reeds een verkenning worden uitgewerkt van de (on)mogelijkheden van het gebruikte concept. De te presenteren resultaten moeten in dit licht dan ook vooral beoordeeld worden op meer kwalitatieve aspecten.

## 4 Modelling storm

### 4.1 Inleiding

Als een storm wordt gekarakteriseerd als een tijdelijke (zeg met tijdsduur  $\Delta t$ ) verhoging van de waterstand (met  $\Delta h$ ) en een bepaalde golfaanval ( $H_s$ ), dan leidt dit, gegeven de gebruikte schematisatie, per laag tot een aanpassing van de dwarstransportconstante en de evenwichtsafstanden (bodempellingen). Op beide mutaties wordt in het volgende nader ingegaan.

Bij de verdere uitwerking is uitgegaan van golfaanval op  $h = 3,0$  m met  $H_s = 5,0$  m gedurende 5 uur.

### 4.2 Aanpassing dwarstransportconstante

De grootte van de van toepassing zijnde constante volgt direct uit de (reeds in Paragraaf 3.3 gegeven) relatie. Afhankelijk van de waterstandsstijging  $\Delta h$  en de golfhoogte  $H_s$  zullen de dwarstransportcoëfficiënten op de verschillende scheidingsniveaus wijzigen.

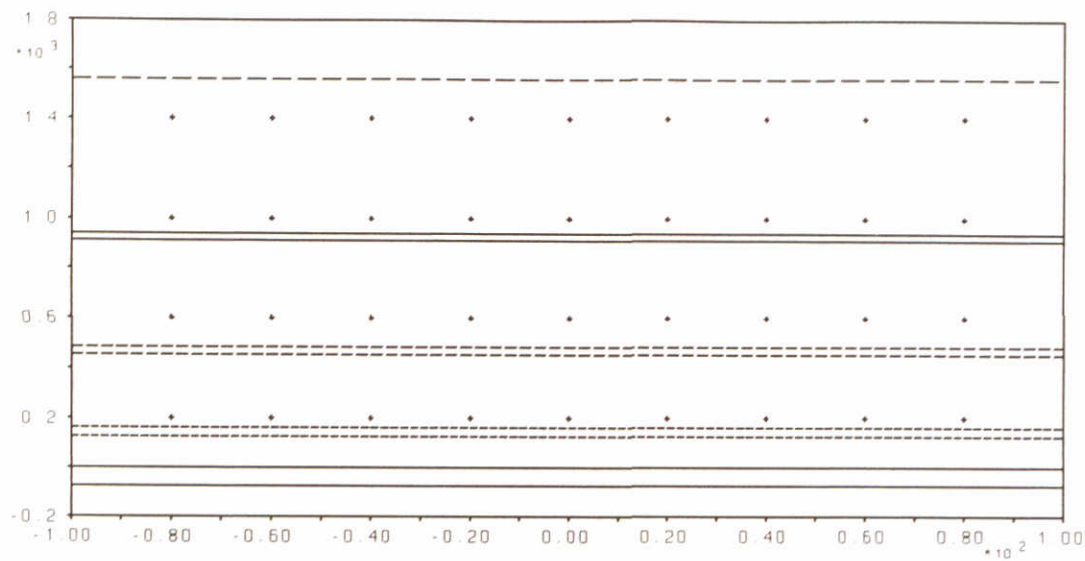
### 4.3 Aanpassing evenwichtsafstanden

Bij een bepaalde stormconditie hoort een aan de golfhoogte maar primair aan de waterstand gerelateerd evenwichtsprofiel. Voor gegeven laagdefinities, zal dit nieuwe evenwichtsprofiel aanleiding geven tot gewijzigde  $W_j$ -waarden.

In deze eerste uitwerking is uitgegaan van een ten opzichte van de beginsituatie gelijkblijvende profielvorm, die zich nu echter op een hoger niveau, te weten op stormvloedpeil bevindt. Gegeven deze nieuwe profielvorm is er sprake van gewijzigde evenwichtsafstanden. De toename in de evenwichtsafstand tussen de verschillende lagen zal uiteindelijk aanleiding geven tot een extra achteruitgang van het duinfront.

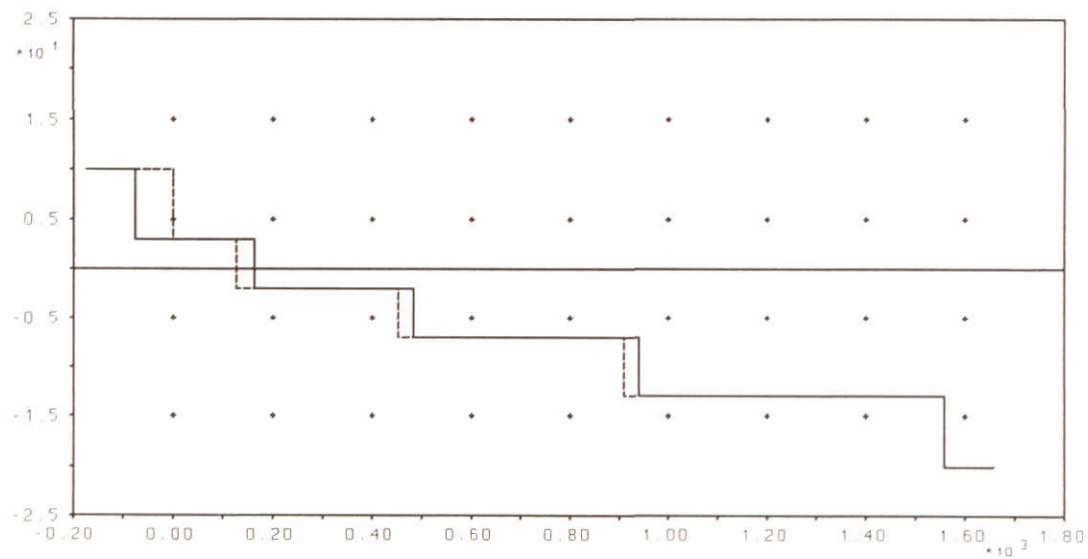
### 4.4 Toepassing

In Figuur 4.1 en 4.2 zijn de resultaten van een verkennende berekening gegeven voor zowel een bovenaanzicht als een dwarsdoorsnede. Met nadruk wordt er op gewezen dat het hierbij slechts gaat om een eenvoudige benadering waarbij de resultaten met name in kwalitatieve zin moeten worden bekeken.



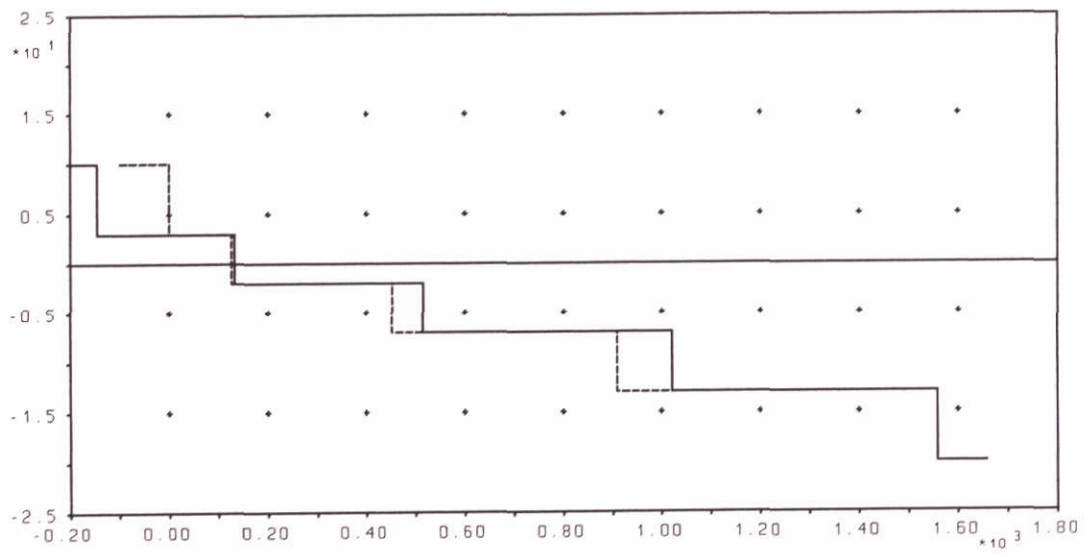
Figuur 4.1 Bovenaanzicht laagverplaatsingen a.g.v. storm

De storm leidt tot afslag uit de bovenste zones (en daarmee tot een terugschrijding van de duinlaag) en tot afzetting in de onderste lagen (en dus tot een vooruitgang van deze lagen).



Figuur 4.2 Dwarsprofielontwikkeling a.g.v. storm

De teruggang van het duinfront bedraagt in dit specifieke geval 74,8 m. Dat het hierbij gaat om een tijdsafhankelijk proces blijkt uit Figuur 4.3, waarin de situatie is gegeven in de stabiele eindsituatie ( $t = 1000$  uur). De teruggang van het duinfront bedraagt nu orde 150 m.



Figuur 4.3 Dwarsprofielontwikkeling a.g.v. storm: stabiel eindprofiel na 1000 uur



## 5 Effect constructies

### 5.1 Inleiding

In het volgende zal worden ingegaan op de wijze waarop de aanwezigheid van een harde constructie in het duinfront de uitwisseling in dwars- en langsrichting beïnvloedt. Hierbij is voornamelijk uitgegaan van dijk-achtige constructies die lokaal de achteruitgang van een bepaalde laag (in dit geval de duinlaag) tegengaan.

Als eerste toepassing is gekeken naar de wijze waarop de aanwezigheid van een harde constructie in de bovenlaag tot uitdrukking komt in de bodemligging van de lagere niveaus.

Vervolgens is uitgaande van dit resultaat gekeken naar de door zijdelingse uitwisseling geïntroduceerde effecten op de teruggang van het duinfront direct naast een constructie en ter plaatse van een constructieopening.

### 5.2 Modelling harde constructie

In het conceptuele model wordt een constructie beschouwd als een normale cel/laag met (tijdelijk) andere eigenschappen. Op het moment dat de voorzijde van een constructie 'bloot' ligt zullen transporten vanuit deze laag worden geblokkeerd.

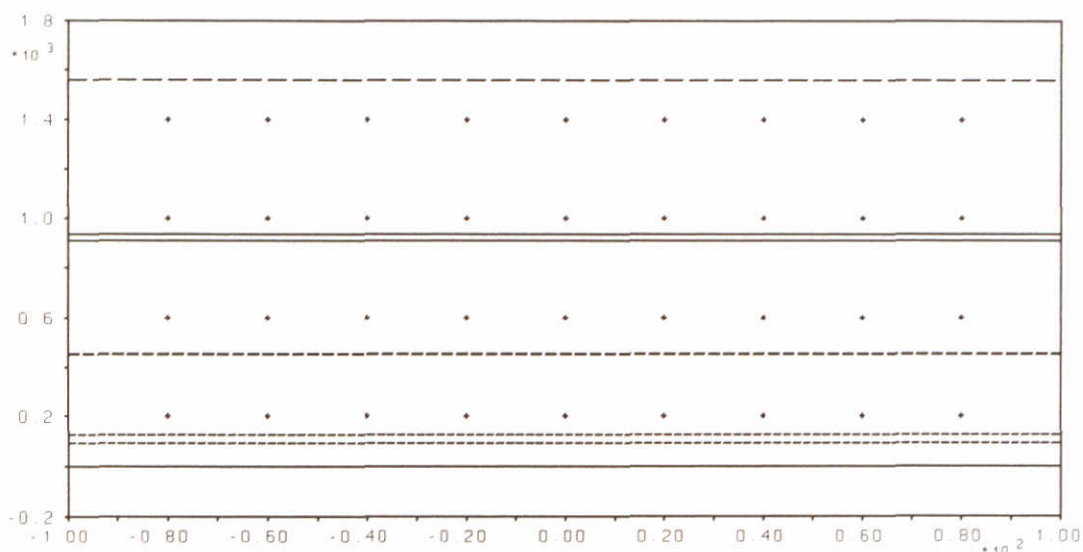
Ten aanzien van het dwarstransport wordt dit bereikt door de dwarstransportconstante op 'nul' te zetten.

Ook het langstransport wordt ter plaatse van de constructie op 'nul' gezet voor zover dit een langstransport in een laag landwaarts van de voorzijde van de constructie betreft.

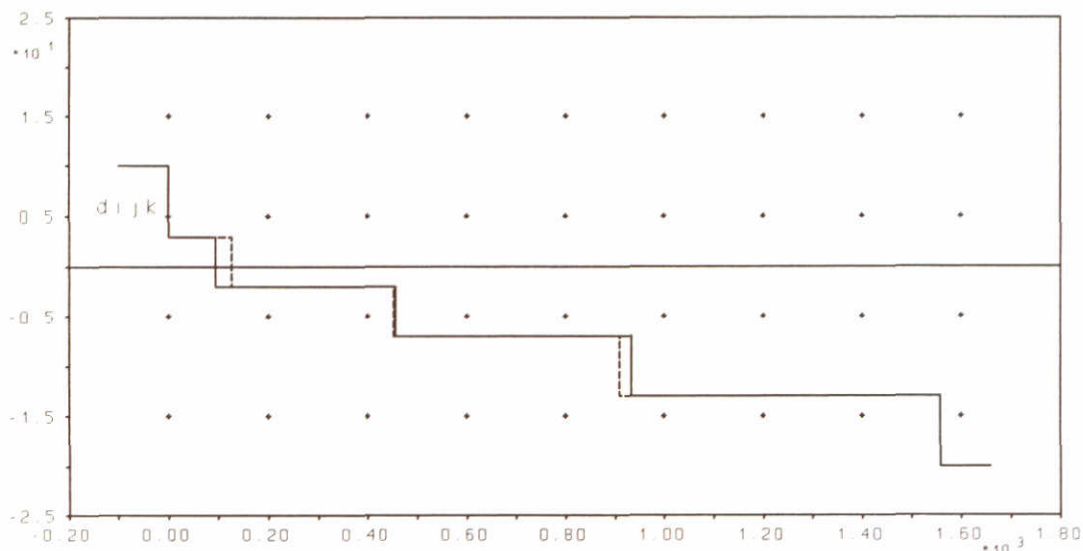
### 5.3 Effect harde constructie

De aanwezigheid van een harde constructie in de bovenlaag (en daarmee dus de onthouding van materiaal aan het afslagproces) geeft aanleiding tot een afwijkende ligging van de vooroever in vergelijking met een dwarsprofiel zonder constructies.

Figuur 5.1 en 5.2 geven als voorbeeld het effect van een harde bovenlaag op  $y = 0$  m (doorgaande dijk in duinfront). Ook hier is een bovenaanzicht en een dwarsdoorsnede gegeven. Er is nu geen sprake van afslag uit het duinfront.



Figuur 5.1 Bovenaanzicht laagverplaatsingen voor harde constructie

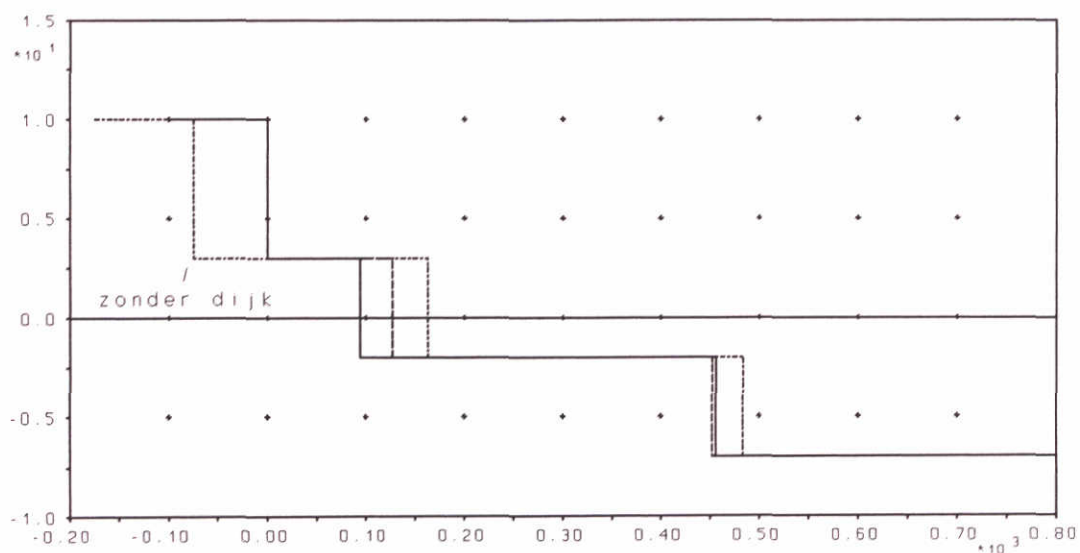


Figuur 5.2 Dwarsprofielontwikkeling voor harde constructie

De positie van de rond de waterlijn gelegen laag verschuift in landwaartse ligging, hetgeen duidt op een afname van het volume in deze laag en daarmee tot een verlaging van het dwarsprofiel direct voor de constructie.

Figuur 5.3 geeft een detailvergelijking tussen de resultaten van een situatie met en een situatie zonder een harde bovenlaag (dunne streep-stippellijn).

De bovenlaag blijft bij aanwezigheid van een constructie natuurlijk intact. Verder blijkt dat er voor de situatie met een constructie ten opzichte van de situatie zonder constructie, sprake is van een meer landwaartse ligging van de lagen.



Figuur 5.3 Detailvergelijking relatief effect harde constructie op dwarsprofielontwikkeling

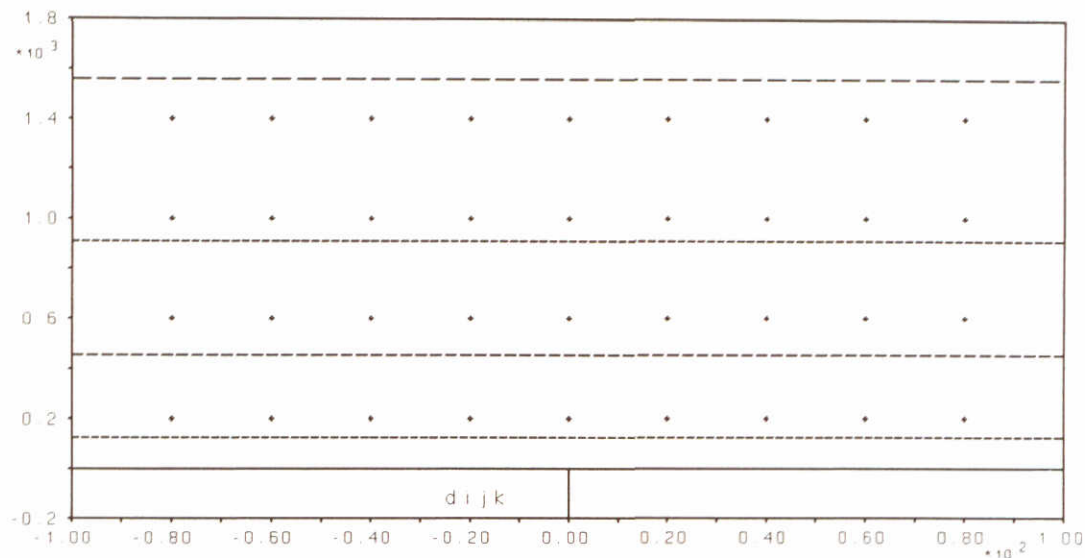
In een dwarsprofiel met een constructie zal het profiel in de zone voor de constructie dus lager gelegen zijn. In het balansmodel komt dit immers tot uitdrukking in een meer landwaartse ligging van de betrokken laag.



## 5.4 Effect overgangsconstructie

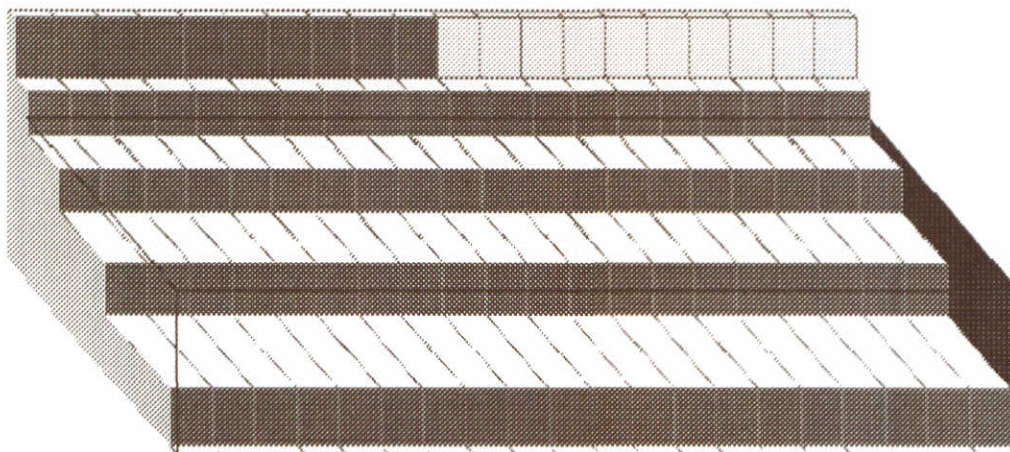
In het volgende is een verkennende berekening uitgevoerd voor het zogenaamde basisgeval waarbij de overgang van een half-oneindig lange dijk naar een kaal duin in beschouwing is genomen. In feite betreft dit dus een zeer eenvoudige vorm van een overgangsconstructie.

Figuur 5.4 geeft een uitwerking van de gebruikte schematisatie, waarbij de bovenlaag over de halve lengte (voor  $x < 0$  m) is voorzien van een harde constructie.



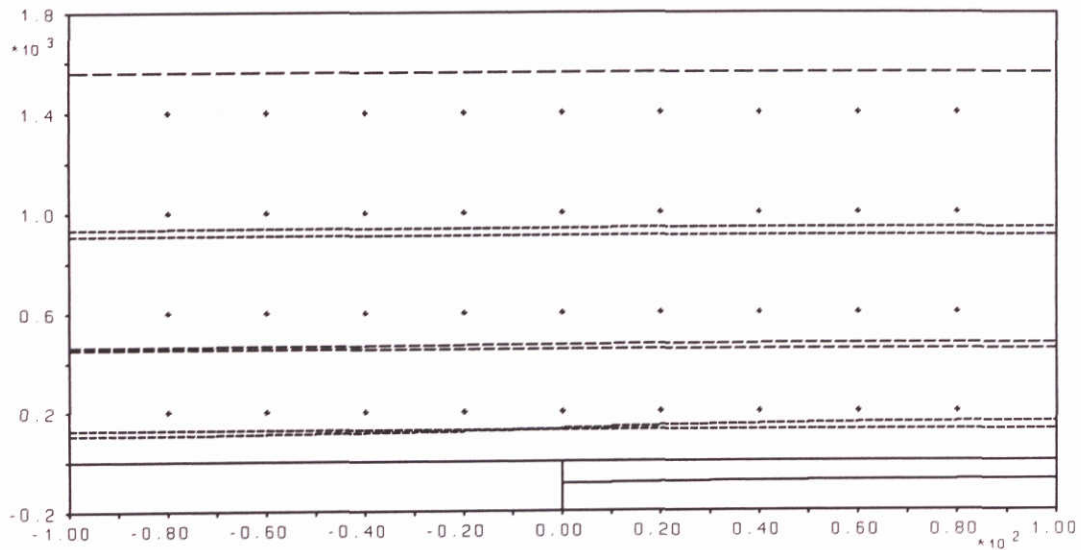
Figuur 5.4 Bovenaanzicht overgang harde constructie naar duin

In Figuur 5.5 is weer een '3D-aanzicht' gegeven.



Figuur 5.5 Aanzicht overgang harde constructie naar duin

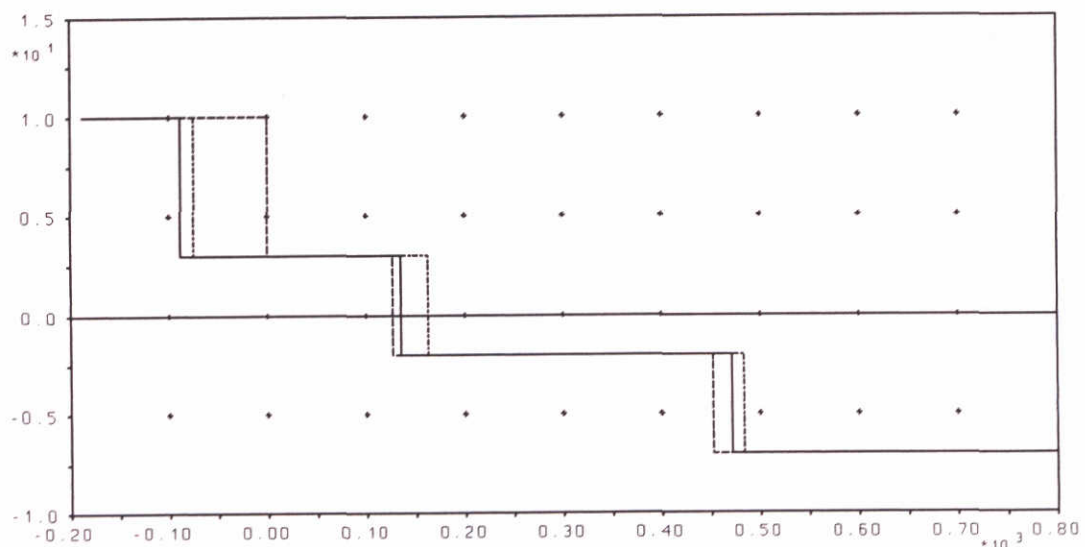
Voor de betrokken overgangsconstructie zijn de resultaten in bovenaanzicht gegeven in Figuur 5.6.



Figuur 5.6 Bovenaanzicht laagverplaatsingen t.p.v. de overgang van constructie naar duin

Duidelijk zichtbaar is de bij de overgang optredende discontinuïteit die als gevolg van zijdelingse uitwisseling gedeeltelijk wordt afgevlakt.

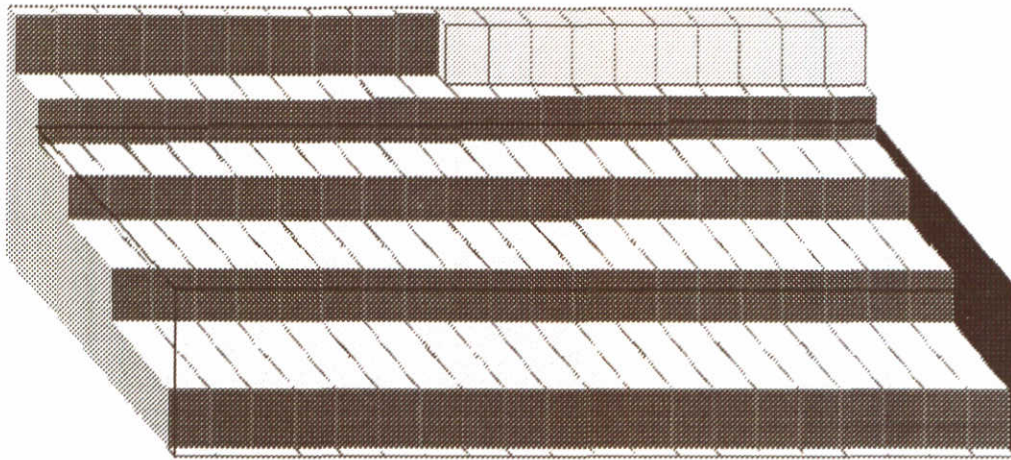
In Figuur 5.7 is een detail gegeven van het dwarsprofiel direct naast de constructie. Hierin is met een dunne streep-stippellijn de situatie bij afwezigheid van een constructie aangegeven, waaruit blijkt dat er als gevolg van zijdelingse uitwisseling sprake is van een extra teruggang van het duinfront.



Figuur 5.7 Detailvergelijking relatief effect constructie-overgang op dwarsprofielontwikkeling

In dit specifieke geval gaat het om 88,2 m i.p.v. de eerdere 74,8 m (dus bijna 20% extra).

Figuur 5.8 geeft nog een '3D-aanzicht' van het eindresultaat. Hierin is de extra teruggang naast de dijk zichtbaar.



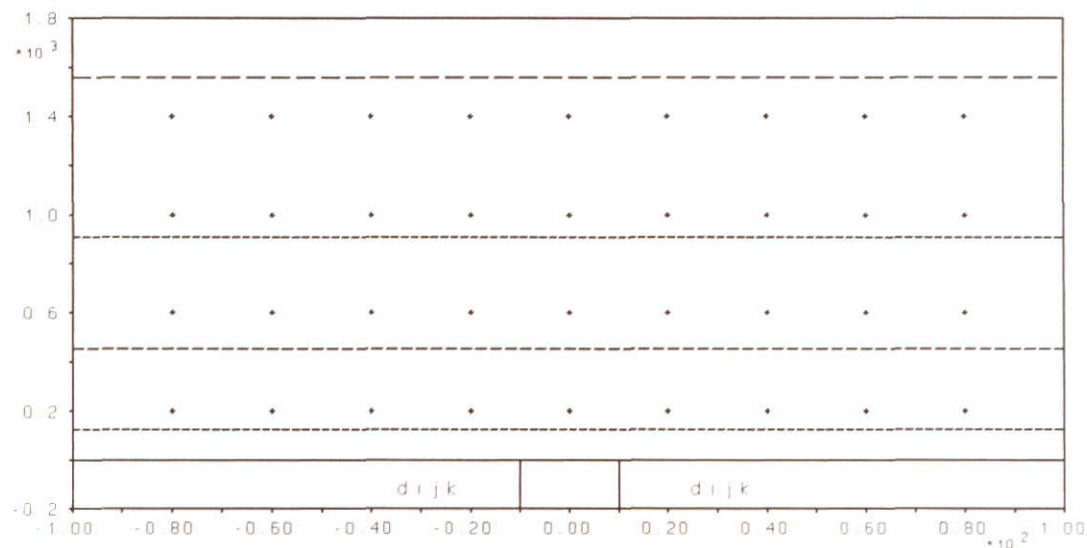
Figuur 5.8 Aanzicht overgang harde constructie naar duin na storm

De verkregen resultaten sluiten kwalitatief aan bij de eerdere theoretische uitwerkingen.

## 5.5 Verdere verkenning

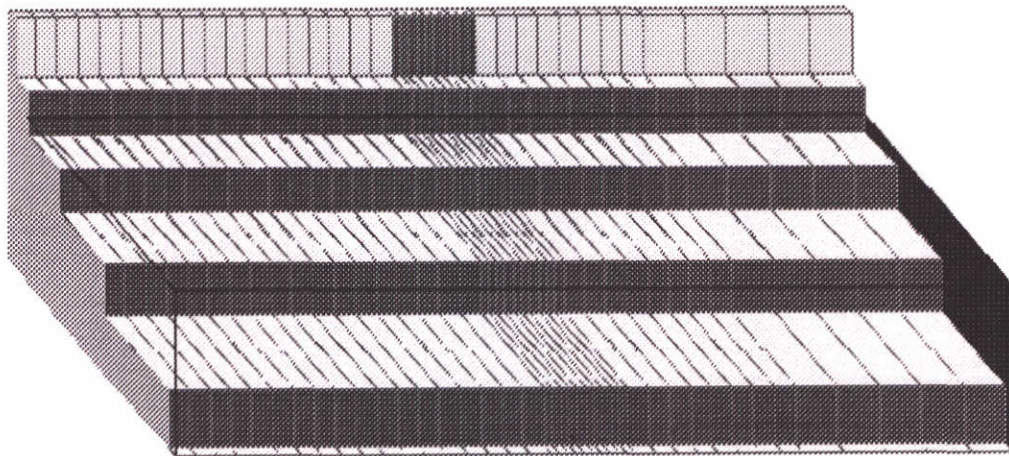
Naast het basisgeval zijn er nog tal van andere toepassingen mogelijk. Als voorbeeld van een mogelijke toepassing is in het volgende gekeken naar het effect van een gat in een doorgaande dijk. De resultaten van een dergelijke simulatie zijn conform het vorige geval samengebracht in Figuur 5.9 t/m 5.13.

Figuur 5.9 geeft een uitwerking van de gebruikte schematisatie, waarbij de bovenlaag over de voor  $x < -10$  m en  $x > 10$  m is voorzien van een harde constructie.



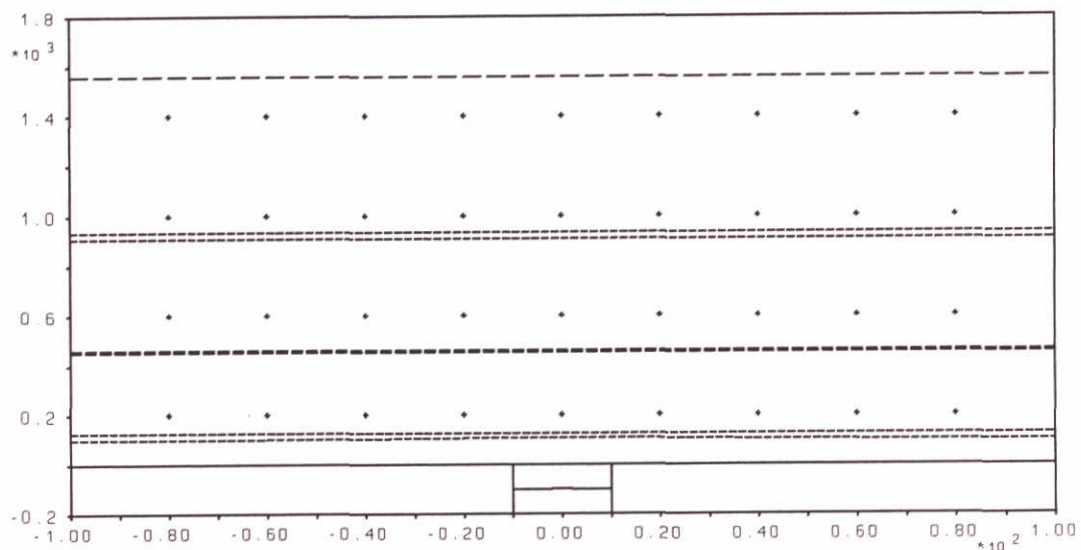
Figuur 5.9 Bovenaanzicht opening in doorgaande harde constructie

In Figuur 5.10 is weer een '3D-aanzicht' gegeven, waarbij ter plaatse van het gat het rekenrooster enigszins is verdicht.



Figuur 5.10 Aanzicht opening in doorgaande dijk

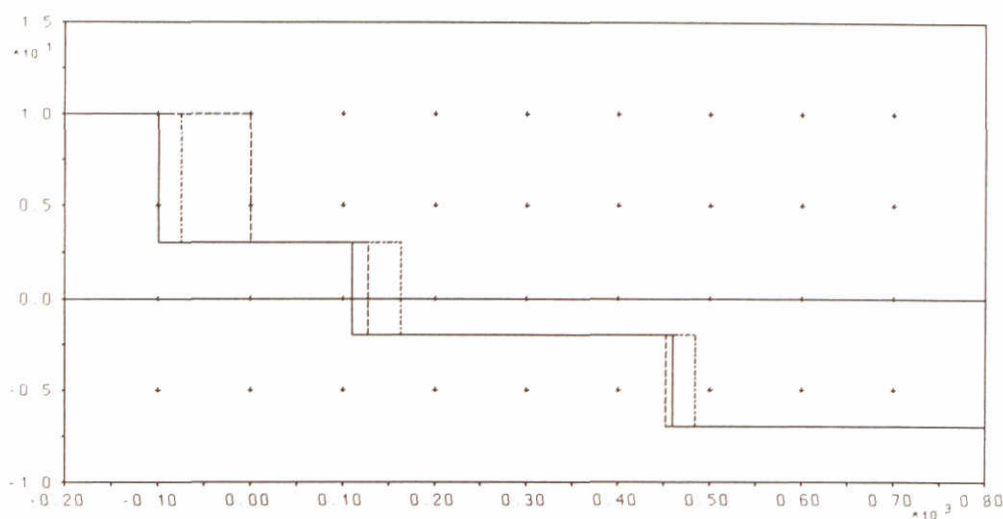
De resultaten zijn in bovenaanzicht gegeven in Figuur 5.11.



Figuur 5.11 Bovenaanzicht laagverplaatsingen t.p.v. de opening in de doorgaande dijk

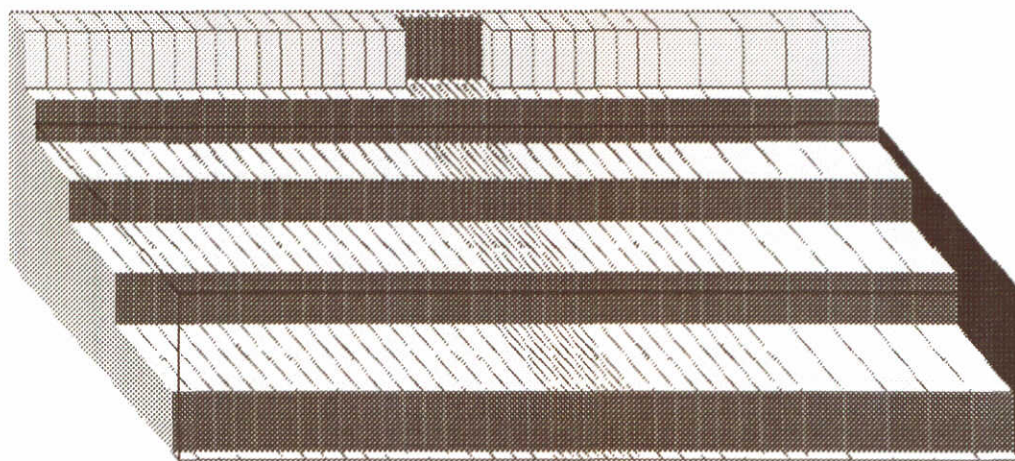
Opnieuw is duidelijk zichtbaar dat de bij de overgang optredende discontinuïteit als gevolg van zijdelingse uitwisseling gedeeltelijk wordt afgevlakt.

In Figuur 5.12 is een detail gegeven van het dwarsprofiel in de opening. Hierin is met een dunne streep-stippellijn de situatie bij afwezigheid van een constructie aangegeven, waaruit blijkt dat er als gevolg van zijdelingse uitwisseling sprake is van een extra teruggang van het duinfront.



Figuur 5.12 Detailvergelijking relatief effect constructieopening op dwarsprofielontwikkeling

In dit specifieke geval gaat het om 99,2 m i.p.v. de eerdere 74,8 m (dus ruim 30% extra). Figuur 5.13 geeft nog een '3D-aanzicht' van het eindresultaat. Hier is de teruggang in het gat van de dijk duidelijk zichtbaar.



Figuur 5.13 Aanzicht opening in doorgaande dijk na storm

De verkregen resultaten sluiten kwalitatief aan bij de eerdere theoretische uitwerkingen. Door zijdelingse uitwisseling ontstaat een toename van de achteruitgang van het duinfront, waarbij de extra teruggang in een gat die van het basisgeval inderdaad overtreft.

## 5.6 Conclusies

Op basis van de verkennende toepassingen van het model kan worden geconcludeerd dat het model-concept goede mogelijkheden biedt om te komen tot een bruikbaar model voor de kwantificering van de effecten van de overgang tussen harde constructies en duinen.

## 6 Verkenning andere effecten

### 6.1 Inleiding

In het vorige hoofdstuk is voornamelijk ingegaan op de kwantificering van de effecten van harde constructies in het duin op de mate van duinafslag. Ter plaatse van de overgangsconstructie is daarbij als gevolg van zijdelingse uitwisseling sprake van een extra teruggang van het duinfront.

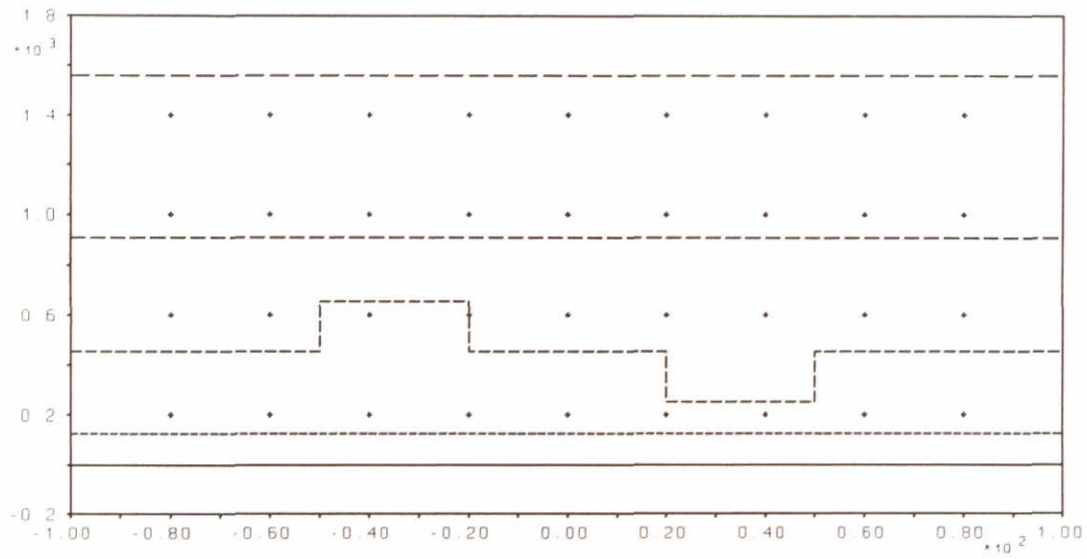
Het hiertoe gebruikte concept maakt echter ook toepassing voor andere situaties met drie-dimensionale effecten mogelijk. In het volgende zijn daartoe als voorbeeld de effecten van een langsvariatie in de vooroeverligging en een langsvariatie in de duinhoogte uitgewerkt. Ook hier gaat het om principe-sommen, nog primair gericht op een kwalitatieve beoordeling van de hiermee samenhangende effecten.

### 6.2 Langsvariaties in de vooroever

Bij een overigens nette, rechte duinenkust kunnen er, door ruimtelijke variaties in de ligging van banken en platen, in langsrichting gezien verschillen aanwezig zijn in de (hoogte)ligging van de vooroever. Afgezien van de meer of minder afscherpende werking van extra hoeveelheden zand (evt. effect op golfhoogte), zal een initieel afwijkende hoeveelheid materiaal in de zone waarin het uit het duin afgeslagen materiaal zich afzet, aanleiding geven tot een afwijkende teruggang van het duinfront. Een relatief hoger liggende vooroever/strandlaag leidt in dit opzicht tot relatief minder afslag (zie bijv. [WL, 1982]).

Bij afwezigheid van zijdelingse uitwisseling zullen variaties in de vooroever in langsrichting resulteren in een discontinu verloop van de positie van het duinfront. Door aanwezigheid van zijdelingse uitwisseling zal echter een meer continu verloop in de positie van het duinfront optreden.

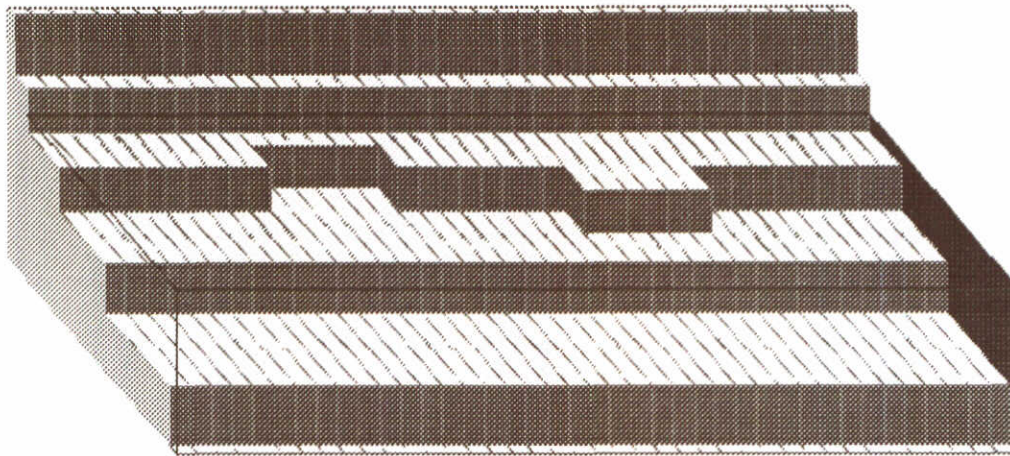
De resultaten van een verkennende berekening naar de effecten van een langsvariatie in de vooroeverligging zijn samengebracht in Figuur 6.1 t/m 6.4. De variatie in de ligging van de vooroever is hierbij gesimuleerd door in een tweetal subzones de karakteristieke initiële positie van de strandlaag te verschuiven (zie Figuur 6.1).



Figuur 6.1 Bovenaanzicht schematisatie langsvariatie vooroever

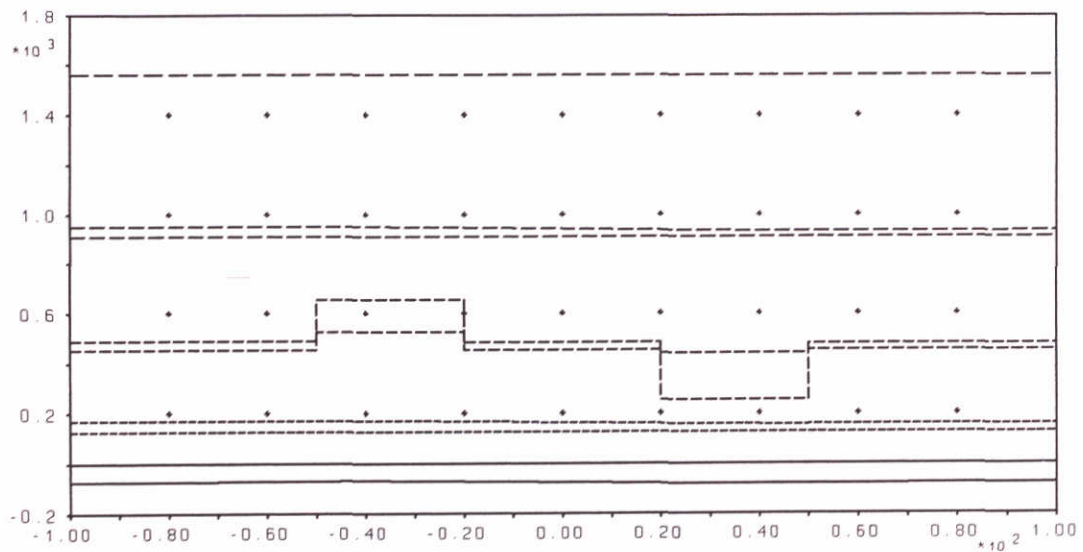
Op het interval  $-50 < x < -20$  m is  $1000 \text{ m}^3/\text{m}^1$  extra aanwezig, op het interval  $20 < x < 50$  m daarentegen juist dezelfde hoeveelheid minder.

In Figuur 6.2 is een en ander in aanzicht gegeven.



Figuur 6.2 Aanzicht langsvariatie in vooroever

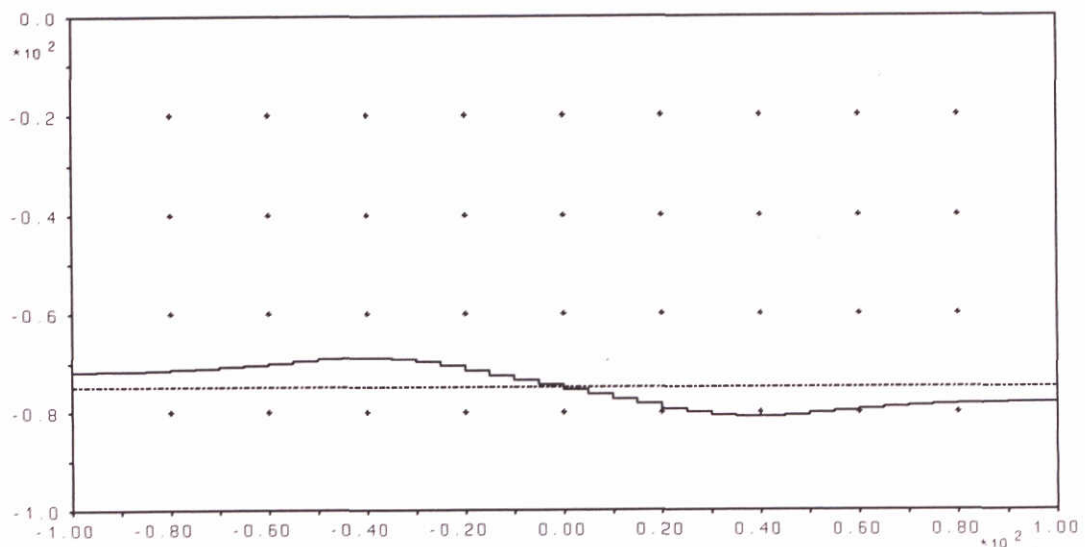
Het resultaat van de berekening is samengebracht in Figuur 6.3.



Figuur 6.3 Bovenaanzicht laagverplaatsingen bij langsvariatie in vooroeverligging

De resultaten sluiten in kwalitatieve zin aan bij de verwachtingen; het bovenaanzicht van het afslagfront wordt enigszins 'gladgetrokken' als blijkt uit het in Figuur 6.4 gegeven detail. Deze diffusie is vrij sterk, dit waarschijnlijk vanwege het feit dat ook zonder afslag de discontinuïteit op de vooroever al sterk onderhevig is aan het golfgedreven langstransport en tot dwarstransporten aanleiding geeft.

Opgemerkt kan nog worden dat de gebruikte uitgangssituatie in principe ook al niet in evenwicht is en dat onder invloed van primair de uitwisseling in langsrichting deze discontinuïteit ook zonder duinafslagcondities zou verdwijnen.



Figuur 6.4 Detail langsverloop duinfront bij langsvariatie in vooroever

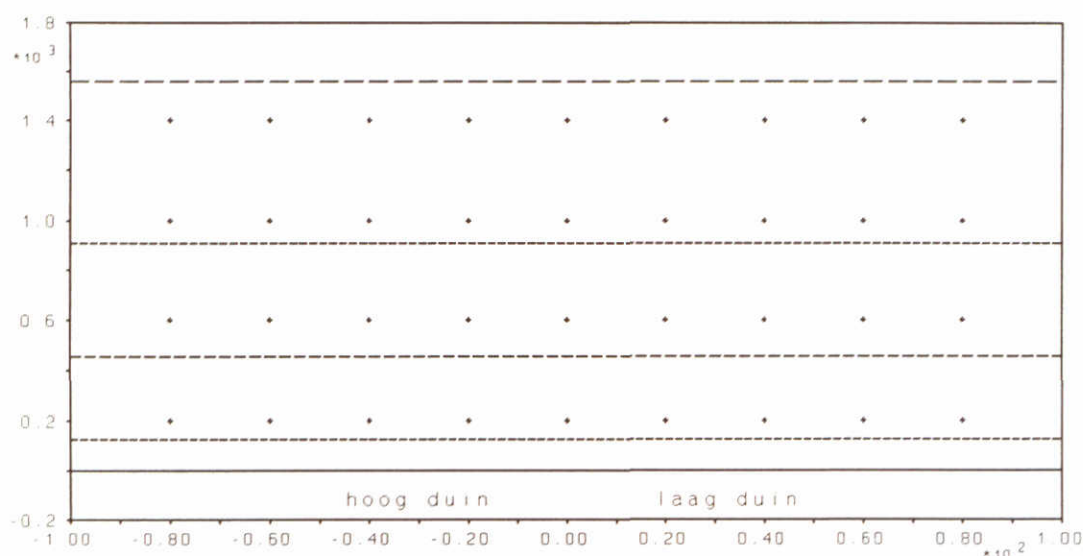


### 6.3 Langsvariaties in de duinhoogte

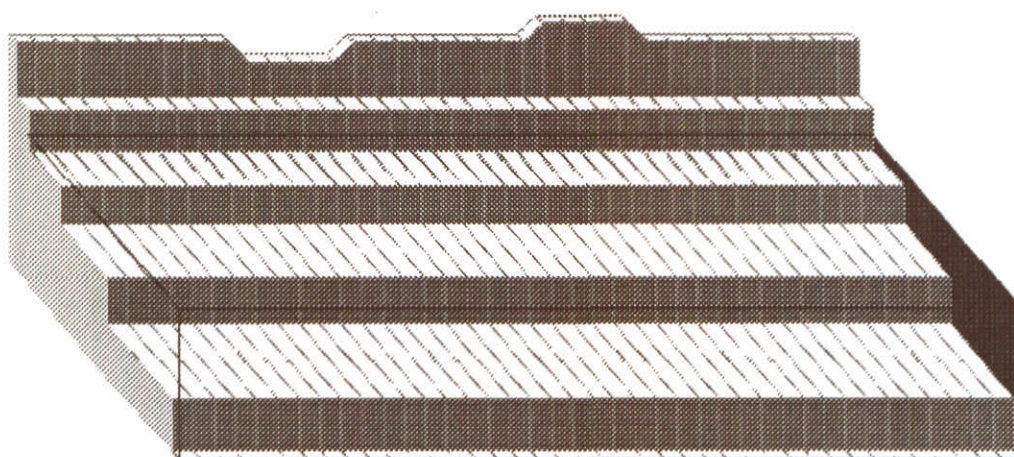
Een soortgelijke uitwerking kan gevolgd worden voor een in langsrichting variërende hoogte van het duin. Een relatief hoger duin leidt in dit opzicht tot een geringere teruggang van het duinfront [WL, 1982].

Bij afwezigheid van zijdelingse uitwisseling zullen variaties in duinhoogte dan ook resulteren in een discontinu verloop van de positie van het duinfront. Door aanwezigheid van zijdelingse uitwisseling zal echter ook hier een meer continu verloop in de positie van het duinfront ontstaan.

De resultaten van een verkennende berekening naar de effecten van een langsvaryatie in de duinhoogte zijn samengebracht in Figuur 6.5 t/m 6.8. De variatie in duinhoogte is hierbij ingebracht door in een tweetal subzones een duin met afwijkende hoogte te beschouwen.



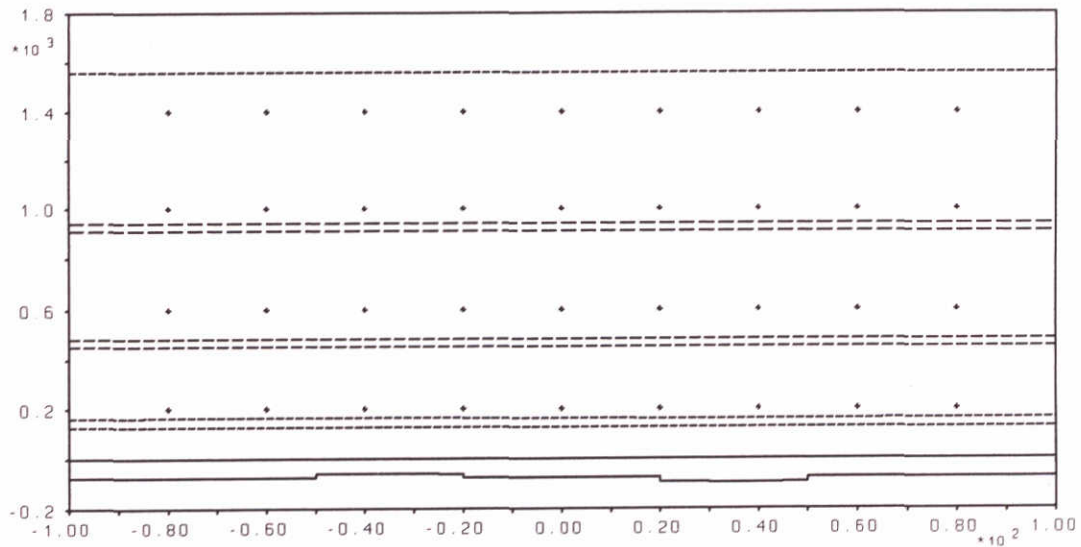
Figuur 6.5 Bovenaanzicht schematisatie langsvaryatie duinhoogte



Figuur 6.6 Aanzicht langsvaryatie duinhoogte

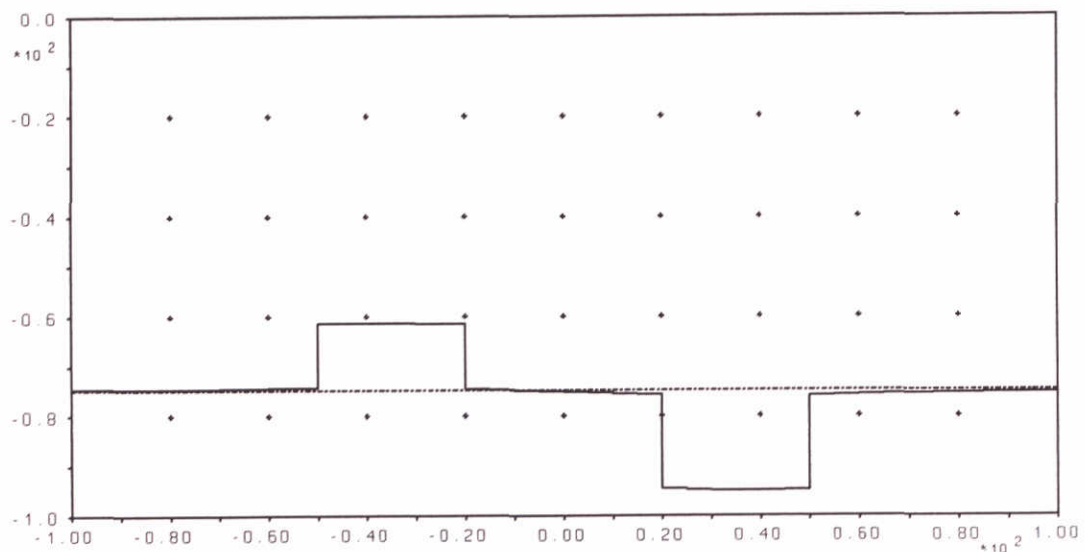
In dit geval is op het eerder gebruikte deelinterval respectievelijk een verhoging en een verlaging over 2,5 m toegepast.

Het resultaat van de uitgevoerde berekening is samengebracht in Figuur 6.7.



Figuur 6.7 Bovenaanzicht laagverplaatsingen bij langsvariatie in duinhoogte

De verkregen resultaten sluiten in kwalitatieve zin aan bij de verwachtingen. Het bovenaanzicht van het afslagfront wordt wellicht iets minder 'gladgetrokken' dan verwacht. Dit kan veroorzaakt worden door het feit dat ter plaatse van het duinfront zelf geen langstransport wordt verondersteld.



Figuur 6.8 Detail langsverloop duinfront bij langsvariatie in duinhoogte

## 6.4 Conclusies

Het model-concept blijkt breed inzetbaar en laat kwalitatief veelal aannemelijke resultaten zien. Een nadere uitwerking gericht op een meer kwantitatieve beoordeling van de effecten lijkt uiterst zinvol.



## 7 Slotopmerkingen

### 7.1 Algemeen

In het volgende zijn de voornaamste conclusies en aanbevelingen van deze studie samengebracht. Er wordt daarbij op gewezen dat het hierbij gaat om een eerste versie van een model, waarbij de nadruk ligt op de formulering en ontwikkeling van het concept.

### 7.2 Conclusies

Op basis van de verkennende toepassingen kan worden geconcludeerd dat het model-concept goede mogelijkheden biedt om te komen tot een bruikbaar model voor de kwantificering van de effecten van de overgang tussen harde constructies en duinen. De verkennende berekeningen naar 'niet-bouwwerk-gevallen' resulteren eveneens in kwalitatief aannemelijke resultaten.

Een nadere uitwerking gericht op een meer kwantitatieve beoordeling van de effecten lijkt uiterst zinvol.

### 7.3 Aanbevelingen

Aanbevolen wordt het hier gepresenteerde model-concept verder uit te werken en daarbij bovendien ruimer inzetbaar te maken. Hierbij zou bijvoorbeeld kunnen worden aangesloten bij de in CUR-kader uitgevoerde studie [Steetzel, aug 1996].

Verder wordt eveneens aanbevolen om een de mogelijkheid tot het maken van gekoppelde DUROSTA-sommen nader uit te werken. Hierbij moet dan gedacht worden aan het simultaan simuleren van de profielontwikkeling in zowel een dwarsprofiel voor een constructie als net naast deze constructie, waarbij de onderlinge/zijdelingse uitwisseling wordt gestuurd door het tussen beide profielen aanwezige niveauverschil.

Omdat het concept in principe ook van toepassing is voor de normale situaties (en de standaard procedure daarbij dus feitelijk overbodig maakt) kan worden overwogen om het verder uitgewerkte model direct in te bouwen in een WINDOWS-georiënteerde omgeving die daarbij de basis vormt voor de in het nieuwe Technisch Rapport Duinafslag te beschrijven toetsingsmethodiek.

### 7.4 Aandachtspunten

Bij een vervolg vragen een aantal beperkingen en onzekerheden om speciale aandacht. Hierbij valt onder andere te denken aan de gevoeligheid voor de laagschematisatie en de beperking van deze schematisatie in relatie tot het weergeven van ontgrondingskuilen.

Verder vereist de kwantificering van zowel langs- als dwarstransportcoëfficiënt nog de nodige aandacht en moet het uitvoeren van modelonderzoek ter (verdere) validatie van het model in overweging worden genomen. In een dergelijk onderzoek kunnen dan de effecten van een aantal basisconfiguraties (waaronder bijvoorbeeld ook de verborgen constructies) systematisch worden onderzocht.

## Referenties

- Steetzel, H.J., Effect bebouwing op de mate van duinafslag; een eerste verkenning inzake bebouwingseisen voor de zeereep, Rapport H1696, deel I, WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM, juni 1993.
- Steetzel, H.J., Effect bebouwing op de mate van duinafslag; nadere kwantificering effecten, Rapport H1696, deel II, WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM, april 1994.
- Steetzel, H.J., Voorspelling ontwikkeling kustlijn en buitendelta's Waddenkust over de periode 1990-2040, Rapport H1887, WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM, mei 1995.
- Steetzel, H.J., Toetsing aansluitconstructies, Rapport H2178, WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM, november 1995.
- Steetzel, H.J., Beach nourishments & rock structures: Behaviour-oriented modelling of the combination of nourishments and rigid shore parallel structures, CUR-C109, phase II, augustus 1996 (in voorbereiding).
- Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen, Leidraad voor de beoordeling van de veiligheid van duinen als waterkering, Staatsuitgeverij 's-Gravenhage, 1984.
- WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM, Systematisch onderzoek naar kenmerkende factoren voor duinafslag, Verslag modelonderzoek M1819, deel I, 1982.



**locatie Delft**  
**Rotterdamseweg 185**  
**postbus 177**  
**2600 MH Delft**  
**telefoon 015 2569353**  
**telefax 015 2619674**  
**telex 38176 hydnl-nl**  
**e-mail [info@wldelft.nl](mailto:info@wldelft.nl)**

**locatie 'De Voorst'**  
**Voorsterweg 28, Marknesse**  
**postbus 152**  
**8300 AD Emmeloord**  
**telefoon 0527 242922**  
**telefax 0527 243573**  
**telex 42290 hylvo-nl**  
**e-mail [info@wldelft.nl](mailto:info@wldelft.nl)**

