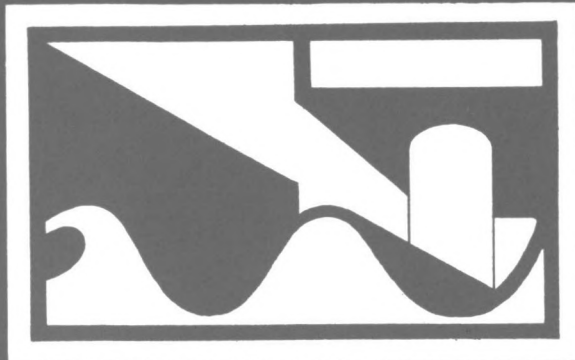


574A



Kustuitbreiding tussen Scheveningen  
en Hoek van Holland

J.P. Smit

Technische Hogeschool Delft  
Afdeling der Civiele Techniek  
Vakgroep Kustwaterbouwkunde

"KUSTUITBREIDING TUSSEN SCHEVENINGEN EN HOEK VAN HOLLAND"

J.P. Smit

TEKST

Technische Hogeschool Delft  
Hoofdontwerp aan de afdeling Kustwaterbouwkunde  
Hoogleraar: Prof.Dr.Ir. E.W. Bijker  
Begeleider: Ir. R. Reinalda

1984

INHOUDSOPGAVEPAGINA

1.	<u>INLEIDING</u>	
	1.1 KUSTUITBREIDING	1.01
	1.2 PROBLEEMSTELLING	1.02
	1.3 WERKWIJZE STUDIE	1.03
2.	<u>REKENMETHODE</u>	
	2.1 REFRACTIEBEREKENING	2.01
	2.2 PROGRAMMA BESCHRIJVING TRAM9-TAPRAM	
	2.2.1 INLEIDING	2.04
	2.2.2 BEREKENINGSWIJZE	2.05
	2.3 DELFLANDSE HOOFDEN	
	2.3.1 INVLOED OP LANGSTRANSPOORT	2.09
	2.3.2 SCHEMATISATIE	2.15
3.	<u>RANDVOORWAARDEN</u>	
	3.1 ALGEMEEN	3.01
	3.2 BODEMSCHEMATISATIE	3.03
	3.3 GOLFHOOGTEVERDELING	3.06
	3.4 GOLFPERIODEN	3.07
	3.5 WATERSTANDEN	3.09
	3.6 KORRELGROOTTE SEDIMENT	3.11
	3.7 DELFLANDSE HOOFDEN	3.12
	3.8 INVOER TRAM9-TAPRAM	3.15
4.	<u>BEREKENINGEN BESTAANDE KUST</u>	
	4.1 RESULTATEN TRAM9	4.01
	4.2 RESULTATEN TAPRAM	4.04
5.	<u>NATUURMETINGEN</u>	
	5.1 OPGETREDEN BODEMVERANDERINGEN	5.01
	5.2 NAUWKEURIGHEID IN STRANDWATERPASSINGEN	5.03

6.	<u>INITIELE KUSTONTWIKKELING</u>	6.01
7.	<u>GOLFKLIMAAT</u>	7.01
8.	<u>CONCLUSIES</u>	8.01

#### APPENDICES

APPENDIX 1: VERBAND LANGSTRANSPOORT EN ENERGIEINHOUD	A.01
APPENDIX 2: LANGSTRANSPOORTREDUKTIE	A.03
APPENDIX 3: CONTINUITEITSVERGELIJKING	A.05

#### LITERATUUR

#### TABELLEN

#### FIGUREN

1. INLEIDING

1.1 KUSTUITBREIDING

Voor de Delflandse kust zijn vele plannen ontwikkeld ten behoeve van kustuitbreiding, gedacht moet worden aan "Nieuwduinen" van de Stevingroep, "Dorp in Zee" van Polyzathe en "Westduinen" van Cadèl en Ten Velden. Het Zuid-Hollandse Statenlid R.E. Waterman lanceerde een plan dat alle voorgaande plannen omvat. Dit is de gedachte van een "integraal kustbeleid". Dit plan valt in 2 stukken uiteen.

Deelplan I : Dit behelst een wigvormige uitbreiding tussen Scheveningen en Hoek van Holland. Zie figuur 1.1-1.

Deelplan II: Hiermee wordt een schiereiland voor de Maasvlakte bedoeld, dat gebruikt wordt voor het opslaan van verontreinigde baggerspecie dat afkomstig is uit de Rotterdamse havens.

Dit rapport beschrijft de kustmorfologie van de huidige kust en is bedoeld als onderbouw voor een eventuele kustuitbreiding zoals beschreven is in Deelplan I.

## 1.2 PROBLEEMSTELLING

De Delflandse kust is een duinkust met een strand als vooroever.

Onderzocht wordt nu in hoeverre deze kust in evenwicht verkeerd.

Een kust kan nooit geheel in evenwicht zijn, omdat lokale stromingen en van korte duur zijnde hevige stormen het evenwicht verstoren. Daarom moet ook een duinkust die over een langere tijd in evenwicht is genoeg zand in buffer hebben om een tijdelijke achteruitgang op te vangen.

## 1.3 WERKWIJZE STUDIE

Er zal een morfologische berekening voor de huidige kust gemaakt worden.

De huidige situatie wordt To genoemd. Met de uitkomsten van deze berekening wordt een uitspraak gedaan over de Waterman situatie of wel situatie T1.

Alvorens de berekeningen van de invloed van de brekende golven op de bodemveranderingen in het studiegebied uit te voeren, dient een aantal invoerparameters te worden bepaald.

De belangrijkste parameters zijn:

- a) de bodemschematisatie
- b) de golfhoogteverdeling voor een gemiddeld jaar.

Ook heeft het horizontale getij zijn invloed op de kust. Aangezien verwacht wordt dat de invloed van het horizontale getij klein is wordt dit in de morfologische berekening niet meegenomen.

In hoofdstuk 4 wordt het sedimenttransport door golven bepaald voor To.

Een vergelijking van de resultaten van de berekening voor To met de waargenomen bodemveranderingen vindt plaats in hoofdstuk 5.

2. REKENMETHODE

## 2.1 REFRACTIEBEREKENING

Bij de refractieberekening wordt het verloop van de golven van diepwater naar de kust bepaald. Een denkbeeldige lijn die loodrecht op de golfkam staat wordt golfstraal genoemd. Langs de golfstraal veranderen de eigenschappen van de golven.

De golftheorie waaraan de refractie ten grondslag ligt, is de theorie van de enkelvoudige sinusvormige zwaartekrachtsgolf.

Met de golfperiode kunnen de golven gekarakteriseerd worden. De relatie  $c = \frac{g \cdot T}{2\pi} \tanh(kh)$  bepaalt bij

constante golfperiode en variërende diepte de fasesnelheid en de golflengte.

In de dispersierelatie is:  $c =$  fasesnelheid

$g =$  zwaartekrachtsversnelling

$T =$  golfperiode

$k =$  golfgetal  $\frac{2\pi}{L}$

$h =$  waterdiepte

$L =$  golflengte.

De golfhoogte wordt beïnvloed door de bodem. Dit is voor een flauwhellende bodem op te splitsen in 2 gedeelten: ten eerste shoaling en ten tweede refractie.

De verhouding tussen golfhoogte bij willekeurige diepte en diepwatergolfhoogte is  $\frac{H}{H_0} = K_{sh} \cdot K_r$ .

Waarin:  $K_{sh} =$  shoalingcoëfficiënt

$K_r =$  refractiecoëfficiënt



De shoalingcoefficient geeft de invloed weer van de groepssnelheid op de golfhoogte.

De groepssnelheid  $c_g = n \cdot c$

Waarin:  $n = 1/2 + \frac{kh}{\sinh(2kh)}$

$c =$  fasesnelheid.

De refractiecoefficient geeft de invloed weer van de straalafstand op de golfhoogte.

Refractie is het bijbuigen van golfkammen als de fasesnelheid, langs de golfstraal gezien, variëert. In figuur 2.1-1 zijn 2 golfstralen getekend. De golfkam zal bij straal II de ondiepte eerder "voelen" dan bij straal I. Aangezien de fasesnelheid door de waterdiepte beïnvloed wordt, zal de golfkam naar de kust toe draaien als de diepte blijft afnemen.

Om  $K_{sh}$  en  $K_r$  te bepalen worden de twee golfstralen I en II bekeken.

De golfstralen lopen van diepwater naar ondiepwater. Door het vlak dat loodrecht op de golfstralen staat gaat golfenergie  $E$  met groepssnelheid  $c_g$ .

De energieflex door dat denkbeeldige vlak is  $P = E \cdot c_g$ . Met de wet van behoud van energie geldt  $b_n \cdot E_n \cdot c_{gn} = b_o \cdot E_o \cdot c_{go} = \text{constant}$ . Hierbij wordt aangenomen dat geen energiedissipatie door bodemwrijving optreedt.

Als de energie  $E = \frac{1}{8} \rho \cdot g \cdot H^2$  is en de groepssnelheid  $c_g = n \cdot c$ , wordt  $\frac{H_n}{H_o} = \sqrt{\frac{n_o \cdot c_o}{n_n \cdot c_n}} \cdot \sqrt{\frac{b_o}{b_n}} = K_{sh} \cdot K_r$

Voor de dieptelijnen kan met de wet van Snellius de hoekverdraaiing van de golfkammen berekend worden:

$\frac{\sin \phi_o}{c_o} = \frac{\sin \phi_n}{c_n}$ . Uit figuur 2.1-1 valt op te maken dat

$$\frac{b_o}{\cos \phi_o} = \frac{b_n}{\cos \phi_n}$$

De refractiecoëfficiënt wordt dan:  $K_r = \sqrt{\frac{\cos \theta_0}{\cos \theta_n}}$

In elk punt  $(x, y)$  is de fasesnelheidsvector gericht langs de raaklijn aan de golfstraal in dat punt. Zo blijkt uit de dispersierelatie voor een bepaalde golfperiode  $T$ :  $c(x, y) = \frac{g \cdot T}{2\pi} \cdot \tanh\left(\frac{2\pi \cdot h(x, y)}{T \cdot c(x, y)}\right)$ , waarin

$h(x, y)$  de diepte is in punt  $(x, y)$ . Het golfstralen verloop zal numeriek bepaald worden, waarbij de dieptewaarden in een rooster opgegeven worden.

## 2.2 PROGRAMMA BESCHRIJVING TRAM9-TAPRAM

### 2.2.1 Inleiding

Met het programma TRAM9, TAPRAM worden de langtransportcapaciteiten voor een zandige kust berekend.

Het programma bestaat uit 2 gedeelten. Het eerste gedeelte is TRAM9 en is het programma waarmee refractie van golven naar de kust wordt berekend. Langs de door TRAM9 berekende golfstralen worden de langtransporten tussen 2 opeenvolgende dieptelijnen door TAPRAM bepaald. Het programma TRAM9 voert de refractieberekening uit, uitgaande van een diepte-schematisatie van het betreffende gebied en een aantal startpunten van waaruit de golfstralen berekend worden. In elk startpunt moet de richting en periode van de golven bekend zijn. Tevens moet de refractie-coëfficiënt bekend zijn. Het startpunt moet of op diepwater liggen of samenvallen met het eindpunt van een vorige berekening d.w.z. een refractie berekening in een groter of in een aangrenzend gebied. Uitgaande van de diepwatergolfhoogte verdeling wordt voor iedere gewenste golfrichting, periode en waterniveau de in de brekerzone vrijkomende energie-flux berekend, alsmede de langtransportcapaciteit tengevolge daarvan. De resultaten worden verkregen per golfstraal op de gemiddelde diepte tussen de gekozen dieptelijnen.

2.2.2 Berekeningswijze

Zoals beschreven is in 2.1.1 is er een verband tussen de golfhoogte op een willekeurige diepte en de diepwatergolfhoogte. Als nu de golfhoogte in een willekeurig punt "s" langs de golfstraal  $H_s$  is, geldt

$$H_s = H_o \sqrt{\frac{no.co}{ns.cs}} \cdot \sqrt{\frac{bo}{bs}}$$

Deze relatie tussen  $H_s$  en  $H_o$  geldt zolang de golf niet gebroken is.

Als de golfhoogte  $H_s$  groter wordt dan de kritische waarde  $H_{br} = \gamma \cdot h_s$  zal de golf breken.

Waarin:  $H_{br}$  = golfhoogte net voor breken

$\gamma$  = brekingscoefficient

$h_s$  = waterdiepte in punt s.

In figuur 2.2.2-1 is langs de golfstraal voor ieder punt de bijbehorende kritische golfhoogte  $H_{sbr}$  bepaald. Als  $H_{sbr} > H_s$  zal de golf ongebroken doorgaan, maar als  $H_{sbr} < H_s$  zal de golf breken. (zie lit/1/).

Door nu  $H_{bdw}$ , de bijbehorende diepwatergolfhoogte in te voeren is de genoemde figuur te vereenvoudigen. In ieder punt s is de  $H_{sbr}$  bekend. Met de refractie- en shoalingcoefficient is bij iedere  $H_{sbr}$  een  $H_{bdw}$  te berekenen. Dat wil zeggen dat een diepwater golf met golfhoogte  $H_{bdw}$  juist in punt s zal breken.

$$\text{Zo geldt: } H_{bdw} = \gamma \cdot h_s \cdot \sqrt{\frac{ns.cs}{no.co}} \cdot \sqrt{\frac{bs}{bo}}$$

Dan is figuur 2.2.2-2 te tekenen. Een golf met een diepwatergolfhoogte  $H_{oa}$  breekt in  $s_a$  en "houdt op" te breken in  $s_b$ , waar de waarde  $H_{bdw}$  weer begint te stijgen:  $H_{bdw} > H_{ob}$ .

Voor het gebied waar de Hbdw een grotere waarde aanneemt dan een eerder bereikt minimum, wordt aangenomen dat geen breking en dus geen energieverlies optreedt. Alle golven hoger dan het minimum zijn reeds gebroken. En alle golven lager dan dat minimum breken niet.

De golfhoogteverdeling wordt voor iedere dieptelijn in twee gedeelten gesplitst:

- a) De energie-flux ten gevolge van golven met een golfhoogte kleiner dan Hbdw.
- b) De energie-flux ten gevolge van golven met een golfhoogte groter dan Hbdw.

ad a) Deze golven zijn op een dieptelijn  $h_s$  nog niet gebroken. De bijdrage van de niet-gebroken golven aan de energie-flux is:

$$P_{\text{ongebroken}} = n_o \cdot c_o \cdot \frac{1}{8} \cdot f \cdot g \cdot b_o \cdot \frac{t_p}{100} \cdot \sum_0^{i_{bdw}} (f(i) \cdot H_o^2(i))$$

waarin:  $f(i)$  = klasse frequentie in % van de totale tijd  $t_p$

$H_o(i)$  = klasse golfhoogte op diepwater

$i$  = klasse nummer

$i_{bdw}$  = klasse nummer waarbij  $H(i) = H_{bdw}$

ad b) De golven van deze klassen zijn op een dieptelijn  $h_s$  reeds gebroken en hebben op deze dieptelijn alle een lokale golfhoogte gelijk aan  $\gamma \cdot h_s$ . Dientengevolge is de resterende energie-flux voor al deze klassen gelijk.

De bijdrage wordt:

$$P_{\text{gebroken}} = \frac{1}{8} \cdot f \cdot g \cdot \frac{t_p}{100} \sum_{i_{bdw}}^{i_{max}} (f(i) \cdot (\gamma \cdot h_s)^2 \cdot n_s \cdot c_s \cdot b_s).$$

Waarin  $i_{max}$  het klassennummer van de hoogste golfklasse is.

Voor de berekening van de langtransportcapaciteit tussen twee dieptelijnen t.g.v. de brekende golven wordt het volgende aangenomen:

- Het langtransport wordt veroorzaakt door de energie-flux, die in de brekerzone vrijkomt tussen de beschouwde dieptelijnen.
- Alleen de langs de dieptelijnen gerichte component van de energie-flux draagt bij tot het langtransport.
- De invloed van de getijstroom op het langtransport wordt niet in de berekening meegenomen.

De totale energie-flux  $P$  pas( $h_i$ ) per m' kam breedte, die een zekere dieptelijne  $h_i$  passeert, is een vector in de richting van de plaatselijke golfstraal en is samengesteld uit de flux van de rest-energie  $P$  gebr. ( $h_i$ ) van de reeds gebroken golf en de energie-flux van de kleinere, niet gebroken golven  $P$  ongebr. ( $h_i$ ) :

$$P \text{ pas}(h_i) = P \text{ ongebr.}(h_i) + P \text{ gebr.}(h_i).$$

De energie-flux die vrijkomt tussen de dieptelijnen  $h_i$  en  $h_{i-1}$  door breking van een deel van de golven tussen deze dieptelijnen bedraagt:

$$P b(h_i; h_{i-1}) = P \text{ pas}(h_i) - P \text{ pas}(h_{i-1}) \text{ en per lengte-eenheid langs de kust:}$$

$$P^1 b(h_i; h_{i-1}) = P b \cdot \sin(\alpha - \beta)$$

waarin:  $\alpha$  = gemiddelde richting van de golfstraal tussen de dieptelijnen  $h_i$  en  $h_{i-1}$  t.o.v. een referentie richting.

$\beta$  = gemiddelde richting van de dieptelijnen  $h_i$  en  $h_{i-1}$  t.o.v. dezelfde referentie richting.

De component  $P_l$  evenwijdig aan de kust van  $P b'$  is dan:

$$P_l = P^1 b \cdot \cos(\alpha - \beta) = \frac{1}{2} \cdot P b \cdot \sin 2(\alpha - \beta)_{i,i-1}$$

Volgens de hierboven vermelde aannamen bedraagt de langs de kust gerichte transportcapaciteit van alle golven uit richting  $\alpha$  tussen de dieptelijnen  $h_i$  en  $h_{i-1}$  in de betreffende periode:

$$S (h_i ; h_{i-1}) = f \cdot P_1$$

Waarin:  $f$  = empirische factor, constant voor een zekere kust.

## 2.3 DELFLANDSE HOOFDEN

2.3.1 Invloed op langstransport

De strandhoofden zullen invloed hebben op de langsstroom langs de kust. Voor een rechte kust met evenwijdige dieptelijnen en een homogeen golfveld is de aandrijvende kracht de schuifspanningscomponent van de golfspanning (zie o.a. lit./2/):

$$S_{yx} = \frac{S_{xx} - S_{yy}}{2} \sin 2\phi$$

waarin:  $S_{yx}$  = schuifspanningscomponent van de golfspanning evenwijdig aan de kust.

$S_{xx}$  = golfspanning in X-richting (loodrecht op golfkam in voortplantingsrichting)

$S_{yy}$  = golfspanning in Y-richting

$\phi$  = hoek van inval.

Dit is te herschrijven tot  $S_{yx} = E \cdot n \cdot \sin\phi \cdot \cos\phi$

waarin: E = golfenergie

n = verhouding tussen groepsnelheid en fase snelheid

$\phi$  = hoek van inval.

Uit de refractietheorie is af te leiden dat

$$S_{yx} = E \cdot n \cdot \sin\phi \cdot \cos\phi = E_0 \cdot n_0 \cdot \sin\phi_0 \cdot \cos\phi_0 = \text{constant.}$$



Binnen de brekerzone is af te leiden dat met gebruikmaking van de ondiep water benaderingen:

$$\frac{\partial S_{yx}}{\partial y} = \frac{5}{16} \cdot \rho \cdot \delta^2 \cdot (g \cdot h)^{\frac{3}{2}} \cdot \frac{\sin \phi_0 \cdot m}{c_0}$$

waarin:  $m = \frac{dh}{dy}$  (strandhelling)

Hierbij is de x-richting langs de kust en de y-richting is loodrecht op de kust.

Deze gradient van de golfschuifspanning levert, afgezien van mogelijke andere krachten zoals die door getij of wind, de aandrijvende kracht voor de langsstroom. Voor een stationaire toestand moet deze evenwicht maken met de bodemschuifspanning opgewekt door golven en stroming

$$\overline{\tau_{cwz}} = \frac{\rho \cdot g}{\sqrt{2} \pi \cdot C} \cdot \delta \cdot \sqrt{h} \cdot \sqrt{f_w} \cdot V$$

waarin:  $\overline{\tau_{cwz}}$  = schuifspanningscomponent evenwijdig aan de kust.

C = Chezy coefficient

h = waterdiepte

$f_w$  = dimensieloze wrijvingscoefficient afhankelijk van de bodemruwheid  $r$  en de amplitude van de orbitaalbeweging aan de bodem

V = gemiddelde snelheid over de diepte  $h$  op afstand  $y$  van de kust.

Dit is een vereenvoudiging van een algemene vergelijking. Er worden een aantal vereenvoudigingen gemaakt waarbij onder meer wordt aangenomen dat  $\sin \phi = 0$  en dat de  $\hat{u}_b \gg V$ .

Waarin:  $\zeta = C \cdot \sqrt{\frac{f \cdot w}{2g}}$

$\hat{u}_b$  = snelheidsamplitude nabij de bodem opgewekt door golven.

Als  $\frac{\partial S_{yx}}{\partial y} = \overline{\tau_{cwz}}$  is  $V = \frac{5\pi\sqrt{g}}{8\sqrt{2}} \cdot \frac{\sin\phi_0}{c_0} \cdot \gamma \cdot \frac{C}{\sqrt{fw}} \cdot h.m$

Dit geeft een lineaire snelheidsverdeling loodrecht op de kust.

Het feit dat direct buiten de breker zone de  $\frac{\partial S_{yx}}{\partial y} = 0$ , is dus daar ook de snelheid  $V=0$

Deze abrupte overgang is niet mogelijk. Door turbulentie zal de snelheidsverdeling anders zijn. Ook buiten de brekerzone is de langsstroom merkbaar.

De snelheden binnen de brekerzone zullen afnemen en buiten de brekerzone zal een stroming ontstaan in de zelfde richting als in de brekerzone.

Als nu een strandhoofd loodrecht op de kust ligt, zal beïnvloeding optreden van de langsstroom. De lengte van het strandhoofd is  $L$ ; sterk geschematiseerd is voor te stellen dat voor de afstand  $y < L$  de snelheid  $v=0$  zal zijn en bij de afstand  $y > L$  is de snelheid

$$V = \frac{5\pi\sqrt{g}}{8\sqrt{2}} \cdot \frac{\sin\phi_0}{c_0} \cdot \gamma \cdot \frac{C}{\sqrt{fw}} \cdot h.m,$$

waarbij in het laatste geval  $h_{kopstrandhoofd} < h < h_{brekerlijn}$ . Er wordt nu van regelmatige golven uitgegaan. De sterk geschematiseerde snelheidsverdeling is getekend in figuur 2.3.1-1.

Het langtransport op afstand  $y$  uit de kust, zal afhangen van de gemiddelde snelheid  $V$ .

Dit is op te maken uit de Bijker formule:

$$S = S_s + S_b = (1,83Q+1) \frac{B D V \sqrt{g}}{C} \exp \left[ \frac{-0,27 \Delta D C^2}{\mu V^2 \left( 1 + \frac{1}{2} \left( \zeta \frac{\hat{u}_b}{V} \right)^2 \right)} \right]$$

waarin:  $S$  = totale langtransport

$S_s$  = langtransport van gesuspendeerd sediment

$S_b$  = langtransport van zich over het bed  
bewegend sediment

$Q$  = verhouding tussen  $S_s$  en  $S_b$  bepaald door  
 $Z_*$  en  $\frac{r}{h}$

$B$  = dimensieloze coefficient

$D$  = mediane korreldiameter

$C$  = Chezy coefficient

$\Delta$  = relatieve dichtheid

$\mu$  = ribbel factor

$\zeta$  = dimensieloze factor

$\hat{u}_b$  = amplitude horizontale bodemsnelheid door  
golven

$V$  = gem. snelheid

In de appendix A.2 is met de Bijker formule het langtransport berekend voor een kustsectie met evenwijdige dieptelijnen. Hier is de invloed berekend van het strandhoofd op het langtransport.

Binnen de strandhoofden zal door de golven ook een langsstroom opgewekt worden. Deze langsstroom zal zorgdragen voor het langstransport. Echter de langsstroom langs dit stukje kust (tussen de 2 strandhoofden) is niet constant, omdat:

- aan de lijzijde van een strandhoofd een schaduwgebied zal ontstaan. Binnen dit schaduwgebied zal diffractie optreden. Echter dit houdt in dat de golfhoogte in dit schaduwgebied lager is dan de invallende golfhoogte. Dit resulteert in lagere snelheden voor de langsstroom.
- het zand, dat door de langsstroom meegevoerd wordt, gevangen zal worden bij het volgende strandhoofd. Hier zal de kustlijn verdraaien. De hoek van inval verandert zó, dat de snelheden van de langsstroom afnemen. Het langstransport neemt af.

De kustlijn tussen de twee strandhoofden zal zo veranderen, dat min of meer een evenwichts orientatie bereikt is. Echter de langsstroom zal niet direct eindigen, maar zal langs het strandhoofd naar buiten uitbreken. Hier zal het zand meegenomen worden door de langsstroom buiten de koppen. Verwacht wordt dat er door dit dwarstransport geen evenwicht heerst binnen de strandhoofden. Van de erosie wordt verwacht dat deze groter is dan de aanzanding.

Van invloed zullen zijn:

- de lengte van de strandhoofden in zee
- de afstand tussen de hoofden
- de helling van de vooroever: bij steile vooroever zullen relatief veel golven binnen de hoofden breken
- de hoek van inval van de golven.

Door het lokale aanpassen van de kustlijn binnen de strandhoofden zal geen sprake meer zijn van evenwijdige dieptelijnen.

De interactie van dwarsstroom en langsstroom zal bij de koppen van de strandhoofden verdiepingen geven.

### 2.3.2 Schematisatie

In het computerprogramma TAPRAM wordt met de CERC-formule het langstransport bepaald.

Het berekenen van de langsstroom is met dit programma niet mogelijk.

Gezocht is naar een schematisatie waarmee de reducerende werking van de strandhoofden in rekening wordt gebracht.

Een redelijke aanname in dit verband is dat het zandtransport volledig door de strandhoofden wordt geblokkeerd wanneer:

- a) de waterstand lager is dan de kruin van de strandhoofden,
- b) de golven binnen de koppen van de strandhoofden breken.

Wanneer aan beide vorenstaande voorwaarden niet wordt voldaan zal er wel zandtransport zijn, maar de mate van reductie door de strandhoofden is niet bekend. Om tot een werkbare schematisatie te komen wordt nu de ruwe benadering gemaakt dat het zandtransport bij waterstanden beneden de kruin van de strandhoofden volledig wordt geblokkeerd, terwijl het zandtransport bij waterstanden boven de kruin van de strandhoofden niet wordt gestoord.

Hierbij worden de volgende fouten gemaakt:

- Er is een klein percentage golven, die optreden bij waterstanden lager dan de kruin maar wel voor de koppenlijn van de strandhoofden breekt.
- Het langstransport dat geïnduceerd wordt door de golven, die optreden bij waterstanden hoger dan de strandhoofden en breken binnen de koppenlijn, zal zeker nog beïnvloed worden door de strandhoofden. Dit komt omdat het doorstroomprofiel door het strandhoofd verkleind wordt. Dit kan niet met de CERC-formule beschreven worden.
- In werkelijkheid zullen de golven die optreden bij de lage waterstanden binnen de strandhoofden een langsstroom induceren die uitbreekt bij de strandhoofden en een dwarstransport tot gevolg zal hebben. Zo zal binnen de strandhoofden toch zand verdwijnen. Ook kunnen deze golven over de strandhoofden heen slaan wat toch aanleiding geeft tot enig langstransport.

3. RANDVOORWAARDEN

## 3.1 ALGEMEEN

De computerprogramma's TRAM9 en TAPRAM hebben de volgende invoergegevens nodig:

- 1) bodemschematisatie
- 2) golfhoogteverdeling
- 3) waterstanden.

ad 1. bodemschematisatie: deze schematisatie bestaat uit een hoofdgebied en een detailgebied. In het hoofdgebied wordt de refractieberekening uitgevoerd die als invoer gebruikt wordt voor een nauwkeuriger refractie- en transportberekening in het detailgebied.

ad 2. golfhoogteverdeling: per windrichting sector wordt een golfhoogteverdeling opgegeven.

Een golfrichting bestrijkt een sector van  $30^\circ$  en is opgebouwd uit golfhoogteklassen van 0.5 m groot.

Voor de Delflandse kust worden de volgende golfrichting genomen:

golfrichting N.O.II	: $15^\circ - 45^\circ$
golfrichting N	: $345^\circ - 15^\circ$
golfrichting N.W.I	: $315^\circ - 345^\circ$
golfrichting N.W.II	: $285^\circ - 315^\circ$
golfrichting W	: $255^\circ - 285^\circ$
golfrichting Z.W.I	: $225^\circ - 255^\circ$



ad 3. per golfrichting is een representatieve waterstand berekend.

Aangezien de waterstanden zijn opgebouwd uit het astronomische getij en het windeffect, dient deze waterstand per golfrichting bepaald te worden uit de gecombineerde kansverdeling van golfhoogte en waterstanden.

## 3.2 BODEMSCHEMATISATIE

Uitgaande van peilkaarten van het betreffende gebied, is een schematisatie tot stand gekomen door op knooppunten van een gedefinieerd rooster de diepten te berekenen. Alle diepten zijn bepaald ten opzichte van het N.A.P. vlak.

Er is gebruik gemaakt van de volgende kaarten van RWS directie Waterhuishouding en Waterbeweging district Kust en Zee, afdeling Hellevoetsluis:

No. 80 - 71612	61
No. 80 - 71614	60
No. 80 - 71620	1003
No. 82 - 7721	1001
No. 82 - 7723	1002
No. 82 - 7725	1003

en de strandwaterpassingen

No. 82 - 7442	4
No. 82 - 7443	5
No. 82 - 7444	6
No. 82 - 7445	7
No. 82 - 7446	8
No. 82 - 7447	9

In fig. 3.2-1 is een situatieschets gegeven van de Delflandse kust en de Maasvlakte.

De verwerkte raaien en strandwaterpassingen zijn zichtbaar op fig. 3.2-2.

Fig. 3.2-3 toont de roosterpunten voor het hoofdgebied met de dieptelijnen.

Deze matrix bevat 90 rijen en 35 kolommen. De roosterafstand in dit hoofdgebied is 400 m. In fig. 3.2-3 is in het hoofdgebied het detailgebied getekend.

De peilkaarten zijn voorzien van het Amersfoortse coördinaten systeem. Het hoekpunt van het hoofdgebied heeft ten opzichte van dit coördinaten systeem de volgende coördinaten:

A:  $x = -100.00$  km;  $y = -14.00$  km

B:  $x = -90.38$  km;  $y = -23.62$  km

C:  $x = -65.21$  km;  $y = +1.55$  km

D:  $x = -74.83$  km;  $y = +11.17$  km

Voor het TRAM9 programma is een nieuw assenstelsel genomen dat in D het nulpunt heeft. De x-as valt samen met de zijde DA en de y-as valt samen met DC. Dit nieuwe assenstelsel maakt een hoek van  $45^{\circ}$  met het Amersfoortse stelsel.

De nieuwe coördinaten in roostereenheden van 400 m worden:

A:  $x = 89$ ;  $y = 0$

B:  $x = 89$ ;  $y = 34$

C:  $x = 0$ ;  $y = 34$

D:  $x = 0$ ;  $y = 0$

Dit hoofdgebied is 35,60 km \* 13.60 km groot. Binnen dit gebied ligt het detailgebied, dat 22,40 km \* 4,00 km groot is. De roosterafstand in het detailgebied is 100 m en zodoende bevat het detailgebied 225 \* 41 punten.

De coördinaten van het detailgebied ten opzichte van Amersfoort zijn:

E:  $x = -92.22$  km;  $y = -16.83$  km

F:  $x = -89.25$  km;  $y = -19.80$  km

G:  $x = -73.27$  km;  $y = -3.82$  km

H:  $x = -76.24$  km;  $y = -0.85$  km

De coördinaten in het nieuwe stelsel zijn:

E:  $x = 80$ ;  $y = 19$

F:  $x = 80$ ;  $y = 29$

G:  $x = 24$ ;  $y = 29$

H:  $x = 24$ ;  $y = 19$

## 3.3

## GOLFHOOGTEVERDELING

Waarnemingen van significante golfhoogte en windrichtingen zijn op het lichtschip Goeree gedaan. Deze gecorrigeerde visuele waarnemingen over de periode 1951-1960 zijn gebruikt voor Delfland.

Gekozen is voor deze golfhoogteverdeling omdat hij reeds bewerkt was en zowel een golfhoogteklasse verdeling als een waterstandsklasse verdeling heeft.

Deze driedimensionale statistische verdeling omvat:

- golfhoogte lichtschip Goeree (klassebreedte 0,5 m)
- golfrichting lichtschip Goeree (klassebreedte  $30^{\circ}$ )
- waterstand Hoek van Holland (klassebreedte 0.5 m).

Dit is gedaan voor de richtingen:

- N.
- N.W.I
- N.W.II
- W
- Z.W.I

Deze statistisch verdeling is weergegeven in de tabellen T 3.3-2 t/m T 3.3-6.

Voor richting N.O.II was geen golfhoogte waterstandverdeling beschikbaar. Wel beschikbaar was een golfhoogteverdeling. Deze golfhoogteverdeling is overgenomen in tabel T 3.3-1.

## 3.4 GOLFPERIODEN

Van de golfperioden zijn geen meetgegevens beschikbaar. De golfperioden zijn berekend uit de golfhoogteverdeling door middel van een door Rijkswaterstaat ontwikkelde formule.

Deze formule bepaalt een maatgevende golfperiode als functie van een representatieve golfperiode.

$$T_m = \left[ \frac{H_r}{0.027} \right]^{2.6s}$$

waarin:  $T_m$  = maatgevende golfperiode in s

$H_r$  = representatieve golfhoogte in m

met

$$H_r = \left[ \frac{\sum H_i^2 \cdot f_i}{\sum f_i} \right]^{1/2}$$

waarin:  $H_i$  = significante golfhoogte in klasse i

$f_i$  = frequentie van voorkomen van golfhoogte  $H_i$   
in klasse i

zie de tabellen 3.4-1 - 3.4-5.

Een vergelijking tussen geschematiseerde refractiepatronen verkregen met de computer en berekende refractiepatronen verkregen uit golfwaarnemingen laat zien dat er een lineaire relatie is tussen de representatieve golfperiode van de golfwaarnemingen en de golfperiode gebruikt voor de refractie berekening. Deze evenredigheidsfactor is  $\alpha$ .

De waarde van  $\alpha$  varieert en gevonden is dat  $\alpha = 1,2 \pm 0.1$ .

De representatieve golfperiode  $T_r$  volgt uit  $T_r = \alpha * T_m$ .

Zo volgt voor de 6 golfrichtingen de representatieve golfperiode:

- golfrichting N.O.II.:  $T_r = 5.0$  sec
- golfrichting N. :  $T_r = 5,0$  sec
- golfrichting N.W.I. :  $T_r = 5,5$  sec
- golfrichting N.W.II.:  $T_r = 6,0$  sec
- golfrichting W. :  $T_r = 5,5$  sec
- golfrichting Z.W.I. :  $T_r = 5,5$  sec

## 3.5 WATERSTANDEN

Voor het refractieprogramma moet in ieder roosterpunt de waterdiepte bekend zijn.

Deze waterdiepte bestaat uit de diepte ten opzichte van N.A.P. met daarbij opgeteld een waterstandsverandering. De waterstandsverandering per golfrichting, de representatieve waterstand, is bepaald uit de golfhoogte-waterstandsverdeling. (Zie tabellen T 3.5-1 t/m T 3.5-3.) Door een cumulatieve verdeling te maken van de gewogen golfenergie per waterstandsklasse en deze cumulatieve overschrijdingsfrequentie per golfrichting op Gumbeloverschrijdingspapier uit te zetten, ontstaat een figuur die een knik vertoont. Het steile onderste gedeelte wordt grotendeels bepaald door getij en het flauwere bovenste gedeelte wordt grotendeels bepaald door opwaaiing. Door nu de waterstand te bepalen die behoort bij 50% overschrijding, ontstaat een mediane waterstand. Dit is dus de waterstand waarbij 50% van de golfenergie overschreden wordt. De Gumbeloverschrijdingskrommen staan op de figuren 3.5-1 t/m 3.5-5.

Voor golfrichting N.O.II. is geen tweedimensionale verdeling beschikbaar en is gebruik gemaakt van de representatieve waterstand die behoort bij golfrichting N.

Geheel juist is dit niet maar golfrichting N.O.II. is gecorreleerd met golfrichting N. en de bijdrage aan het zuidwaartse langstransport is relatief klein, dus verwacht wordt dat de gemaakte fout verwaarloosbaar klein is.



De berekende representatieve waterstanden zijn:

golfrichting N.O.II. : NAP +0.20 m  
golfrichting N. : NAP +0.20 m  
golfrichting N.W.I. : NAP +0.40 m  
golfrichting N.W.II. : NAP +0.70 m  
golfrichting W. : NAP +0.80 m  
golfrichting Z.W.I. : NAP +0.30 m

## 3.6

## KORRELGROOTTE SEDIMENT

Het TAPRAM-programma is geijkt voor zand dat een D50 van 200  $\mu\text{m}$  tot 300  $\mu\text{m}$  heeft. Het zand dat langs de Delflandse kust aangetroffen wordt, ligt binnen deze grenzen.

## 3.7

## DELFLANDSE HOOFDEN

De Delflandse hoofden hebben de kruin op NAP -0.30 m liggen.

Zoals in hoofdstuk 2 beschreven is, hebben de hoofden een reducerende werking op het langstransport. In eerste instantie zijn de langstransportcapaciteiten berekend voor een onverdedigde kust. Door nu te stellen dat alleen langstransport optreedt bij golven die optreden bij een waterstand die hoger is dan de kruin van de hoofden, zal slechts een percentage van het ongestoorde langstransport overblijven.

Aangenomen is nu dat het langstransport rechtevenredig is met de golfenergie. Dat wil zeggen dat de golven die een waterstand hebben lager dan de kruin geen energiebijdrage leveren die ten goede komt aan het langstransport. Om nu de energieinhoud te bepalen van de golven met waterstand lager dan de kruin is uitgegaan van ongerefracteerde golven d.w.z. de golfhoogteverdeling op diepwater. Zie ook de appendix A.1: S is evenredig met  $H^2$ .

De golfenergieinhoud per golfrichting is berekend door de gewogen gekwadrateerde golfhoogte te sommeren. In de tabellen T 3.5-2 t/m T 3.5-5 is een twee-dimensionale verdeling voor de golfenergie berekend. Voor alle waterstandsklassen is de energieinhoud bepaald en hier is een cumulatieve verdeling van gemaakt. Gesteld is nu dat bij een kruinhoogte van NAP -0.30 m de energie uit klasse (-1,0/-0,5) en 2/5 van de energie uit klasse (-0,5/0) wegvalt.

Er zijn golven die voor de koppen breken, maar optreden bij waterstanden lager dan de kruin.

Echter uit de tabellen T. 3.3-1 t/m T. 3.3-6 blijkt dat de frequentie van voorkomen van deze golven klein is.

Hier doet zich weer het probleem voor dat voor golfrichting N.O.II. geen twee-dimensionale verdeling beschikbaar is. Zodoende is voor golfrichting N.O.II. dezelfde reductiefactor als voor golfrichting N. genomen.

De berekende reductie factoren zijn nu voor:

golfrichting N.O.II. : 48%  
golfrichting N. : 48%  
golfrichting N.W.I. : 60%  
golfrichting N.W.II. : 72%  
golfrichting W. : 69%  
golfrichting Z.W.I. : 66% d.w.z. 66% van de energieinhoud komt slechts ten goede aan het langstransport.

Opvallend is dat voor de golfrichtingen N.O.II, N. en N.W.I. meer gereduceerd wordt dan voor de golfrichtingen N.W.II, W. en Z.W.I. Voor een deel kan dit worden toegeschreven aan de representatieve waterstanden voor de verschillende golfrichtingen (zie par. 3.5).

Het weglaten van een gedeelte van de golfhoogteverdeling heeft consequenties voor de representatieve waterstand en de representatieve golfperiode.

In de tabellen T 3.4-1 t/m T 3.4-5 is voor de golfrichtingen N. t/m Z.W.I. de representatieve golfperiode bepaald voor 3 gevallen.

- 1. voor alle waterstandsklassen
- 2. voor alle waterstandsklassen minus de klasse  
-1.0/-0.5
- 3. voor alle waterstandsklassen minus de klassen  
-1.0/-0.5 en -0.5/0.

De representatieve waterstanden zijn bepaald met de tabellen T 3.5-2 t/m T 3.5-6.

Door het weglaten van de klasse  $-1,0/-0,5$  en  $2/5$  gedeelte van klasse  $-0,5/0$  treedt een verandering op in de representatieve golfperiode en representatieve waterstand.

Deze representatieve golfperioden en representatieve waterstanden liggen per golfperiode tussen geval 2 (waterstandsklassen minus klasse  $-1.0/-0.5$ ) en geval 3 (waterstandsklassen minus  $-1.0/0.5$  en  $-0.5/0$ ).

De verschillen zijn klein. Daardoor is een herziening van de refractieberekening niet nodig.

## 3.8 INVOER TRAM9 - TAPRAM

Als invoer van het computerprogramma dienen de dieptematrix voor het hoofdgebied voor de grove refractieberekening en de dieptematrix van het detailgebied voor de fijnere refractieberekening met de langstransportberekening.

Voor de refractieberekening in het hoofdgebied zijn nodig de orientatie van het hoofdgebied, de invalshoek van de golven met het rekengebied, de startpunten op de rand van het rekengebied en de golfgegevens.

Voor de zandtransportberekening is als extra de golfhoogte verdeling benodigd.

#### 4. BEREKENINGEN BESTAANDE KUST

##### 4.1 RESULTATEN TRAM9

TRAM9 maakt met de diepteschematisatie en de golfperiode voor iedere golfrichting een golfstraal die vanuit een startpunt op de rand van het hoofdgebied start. De stralen lopen door op de kust. Door nu het detailgebied te definieren binnen het hoofdgebied, kan TRAM9 nieuwe startpunten maken op de zeewaartse rand van het detailgebied. Tussen iedere twee startpunten op de rand van het detailgebied zijn 3 startpunten bijgemaakt door middel van interpolatie. Omdat het rooster viermaal fijner is dan het rooster van het hoofdgebied is de bodemschematisatie in het detailgebied een betere benadering van de zeebodem. Langs een golfstraal gezien krijgt het refractieprogramma ongeveer viermaal zoveel meer informatie over de diepte. De nauwkeurigheid van het detailgebied kan niet veel meer dan de nu gebruikte 100 meter opgevoerd worden. Bij een verdere verfijning van het rooster is de dan bereikte nauwkeurigheid een schijnnaauwkeurigheid, omdat ten eerste de afstand tussen de gevaren raaien maatgevend wordt en ten tweede dat de golfhoogteverdeling een beperkte nauwkeurigheid heeft. De figuren 4.1-1 t/m 4.1-8 laten de refractiepatronen zien per golfrichting voor het hoofdgebied en het detailgebied. Uit de refractiepatronen is voor de 6 golfrichtingen het volgende op te merken:

- golfrichting N.O.II: (fig. 4.1-1, 4.1-2) Uit het refractiepatroon is op te maken dat de golfstralen na het passeren van de 10 meter dieptelijn meer naar de kust bijdraaien. Door de lenswerking van loswal Noord komen achter de loswal kruisende golfstralen voor.

Echter dit heeft geen effect op de Delflandse kust omdat deze golfstralen naar de Noorderdam lopen.

- golfrichting N: (fig.4.1-3 ) Alle golfstralen lopen min of meer evenwijdig aan elkaar, behalve enkele golfstralen die loswal Noord gepasseerd zijn. De golfstralen buigen slechts weinig bij.
- golfrichting N.W.I: (fig. 4.1-4) Ook voor deze golfrichting lopen de golfstralen bijna evenwijdig aan elkaar en buigen ze zelfs weinig naar de kust toe wegens de vrijwel loodrechte golfinval.
- golfrichting N.W.II: (fig. 4.1-5) De golfstralen gedragen zich hier hetzelfde als voor de golfrichting N.W.I.
- golfrichting W: (fig. 4.1-6) De invloed van de Noorderdam is merkbaar en dit heeft als resultaat dat voor het kustvak Hoek van Holland - 's-Gravenhage relatief minder golfstralen de kust bereiken, dan voor de rest van de kust. Een tweede oorzaak is de invloed van loswal Noord die voor concentratie van golfstralen zorgt, wat inhoudt dat voor het kustvak Hoek van Holland - 's-Gravenzande divergentie van golfstralen optreedt.  
Voor dit kustvak zal een diffractieonderzoek gedaan moeten worden, om te bepalen of door de diffracterende golven het desbetreffende kustvak harder aangevallen wordt dan alleen door het refractiemodel bepaald is.



De concentratie van golfstralen ten noorden van 's-Gravenzande levert een verhoogde aanval en een daaruit resulterend verhoogd langstransport op. Echter omdat de golfrichtingen gediscrètiseerd zijn tot sectoren van  $30^{\circ}$  en gerefracteerd wordt uit een hoofdrichting zal volgens fig. 4.1-6 slechts een gedeelte van de kust harder aangevallen worden. In werkelijkheid zal deze aanval over een groter gedeelte kust plaatsvinden omdat er sprake is van een richtingen spectrum.

- golfrichting Z.W.I.: (fig. 4.1-7, 4.1-8) Deze golfstralen worden door de Maasvlakte en de Noorderdam beïnvloed.

Door de lenswerking van loswal Noord treedt een concentratie van golfstralen op die een verhoogde aanval op de kust levert. Voor deze golfrichting zou in principe een gecombineerde diffractie/refractie berekening gemaakt moeten worden.

Dit is gezien de bijdrage van deze golfrichting aan het noordwaartse langstransport niet direct van belang.

Uit figuur 4.1-8 blijkt dat onder invloed van loswal Noord divergentie van golfstralen optreedt ten noorden van de denkbeeldige schaduwlijn. Dit houdt in dat de golfenergie die door diffractie het schaduwgebied zou bereiken relatief klein is.

## 4.2 RESULTATEN TAPRAM

Het TAPRAM-programma berekent tussen de dieptelijnen voor iedere straal de langtransportcapaciteit. Deze langtransportcapaciteit werkt over de breedte waarover de straal werkt. Dit geeft sterk fluctuerende langtransportcapaciteiten langs de kust. Dit is te wijten aan het discrete karakter van de bodemschematisatie.

Via een glijdende middeling is dit probleem te ondervangen. Deze glijdende middeling is geoorloofd omdat naast elkaar liggende stralen gecorreleerd zijn. Een fysische verklaring is dat langs de golfkammen de fluctuerende golfhoogten door diffractie uitgesmeerd worden. Dit zou te ondervangen zijn door in het computermodel een tijdstap verder de refractiecoëfficiënten te berekenen en langs dit golffront met het diffractieprincipe de fluctuaties uit te smeren. Het nadeel van deze methode is dat het veel computertijd kost.

De fig. 4.2-2 t/m fig. 4.2-7 laten voor het kustvak Scheveningen - Hoek van Holland de langstransporten zien per golfrichting. Hoe de ligging van de kilometerraaien is is op te maken uit fig. 4.2-1. Ook staan in deze figuur de strandpaalnummers.

- golfrichting N.O.II: Deze richting geeft nagenoeg geen bijdrage aan het zuidwaartse langtransport.
- golfrichting N: Hier valt op dat de langtransportcapaciteiten langs het kustvak genomen nagenoeg constant zijn.

- golfrichting N.W.I: Verhoogde langtransportcapaciteiten tussen 2,5 en 6,5 km vallen op als de golfrichting N.W.I. bekeken wordt. Dit is het gevolg van de concentratie van golfstralen.
- golfrichting N.W.II: Hier zijn grote langtransportcapaciteiten waar te nemen tussen 0 en 3,5 km. Dit is weer het gevolg van de concentratie van golfstralen door de aanwezigheid van loswal Noord.
- golfrichting W: Dit is de golfrichting die grote noordwaartse langtransportcapaciteiten geeft. Van 0 tot 1,5 km zijn door het ontbreken van de diffractieberekening in het model geen langtransportcapaciteiten.
- golfrichting Z.W.I.: Tot 11 km is er geen bijdrage aan het langtransport, dit komt door de schaduwwerking van de Maasvlakte en de Noorderdam.

Langtransporten die optreden en langtransportcapaciteiten die berekend zijn kunnen van elkaar verschillen. Het nulpunt van het kustvak ligt dicht tegen de Noorderdam. Voor golfrichting N.W.II. geven de eerste stralen die de kust direct ten noorden van de Noorderdam bereiken direct hoge transportcapaciteiten. Dit is niet in overeenstemming met de werkelijkheid omdat de langstroom die voor het langtransport zorgt tot ontwikkeling moet komen. Voor de Maasvlakte is hiernaar een onderzoek geweest dat uitwijst dat de langtransporten na ca. 2 km pas tot ontwikkeling zijn gekomen. (Zie fig. 4.2-8). Deze verzadigingsafstand is niet direct toepasbaar op de Delflandse kust, omdat hier rekening gehouden moet worden met de Noorderdam. Deze zal de verzadigingsafstand beïnvloeden.

Dit probleem doet zich ook voor bij de Scheveningse havenhoofden. Alleen is de lengte van de hoofden kleiner dan die van de Noorderdam.

De langtransportcapaciteiten zijn voor het kustvak bepaald door het sommeren van de langtransportcapaciteiten per raai voor de 6 golfrichtingen.

Dit is gedaan voor 2 gevallen:

- zonder strandhoofdreduktie
- met strandhoofdreduktie

zonder strandhoofdreduktie

- Gemiddelde noordwaartse langtransportcapaciteit ca.  $8 \cdot 10^6$  m<sup>3</sup>/jr fig. 4.2-9
- Gemiddelde zuidwaartse langtransportcapaciteit ca.  $8 \cdot 10^6$  m<sup>3</sup>/jr fig. 4.2-10

Het gemiddelde totale langtransport is weergegeven in figuur 4.2-11.

Deze laatste figuur laat het resultaat zien van de noordwaartse en zuidwaartse langtransportcapaciteiten.

met strandhoofdreduktie

- Gemiddelde noordwaartse langtransportcapaciteit ca.  $7 \cdot 10^6$  m<sup>3</sup>/jr fig. 4.2-12
- Gemiddelde zuidwaartse langtransportcapaciteit ca.  $5 \cdot 10^6$  m<sup>3</sup>/jr fig. 4.2-13

Uit gemiddelde totale langtransport is getekend in fig. 4.2-14.

Voor de conclusies over de langtransportcapaciteiten wordt naar hoofdstuk 6 verwezen.

5. NATUURMETINGEN

## 5.1 OPGETREDEN BODEMVERANDERINGEN

De berekende langstransporten worden vergeleken met de natuurmetingen.

De natuurmetingen zijn verwerkt met het Jarkus programma van Rijkswaterstaat.

In tabel 5.1-1 zijn voor een 33-tal raaien de erosie en aanzanding berekend tot de NAP -6 m dieptelijn.

Dit resultaat is het gemiddelde van een 6 jaar durende meetperiode (1974-1980).

Omdat de spreiding van jaarlijkse waarnemingen ten opzichte van het gemiddelde zo groot is, is tevens de standaardafwijking bepaald. In figuur 5.1-1 is voor iedere raai het gemiddelde uitgezet met de daarbij behorende standaardafwijking.

De meest noordelijke raai is 103.12 en de meest zuidelijke raai is 116.62.

Verder dan deze raaien gaat het verwerken van de meetgegevens niet.

De reden hiervoor is dat verondersteld wordt dat tussen de raaien 103.12 en 116.62 de kust niet beïnvloed wordt door de Noorderdam (Hoek van Holland) en het Zuiderhavenhoofd (Scheveningen).

Daarom zijn bij de vergelijking in figuur 5.1-1 de erosie en aanzanding tengevolge van het verschil in de langstransporten slechts tussen raai 2 en raai 15 berekend. (Raaien uit TAPRAM berekening).

De langstransporten zijn ontleend aan figuur 5.1-2 en met behulp van tabel 5.1-2 zijn voor kustvakken met  $\Delta x = 1$  km lengte, de erosie en aanzanding berekend volgens  $\Delta S = \frac{S_{x+i} - S_x}{\Delta x}$

$$\Delta x \quad \Delta x$$

Zoals uit figuur 5.1-1 is op te maken bestaat er een groot verschil tussen de erosie en aanzanding welke uit de gradient van de langstransporten bepaald zijn en welke uit de natuurmetingen bepaald zijn.

De onderlinge verschillen zijn te wijten aan:

- De korte meetperiode van de natuurmetingen.  
De spreidingen zijn aanzienlijk, zodat de betrouwbaarheid van de kuberingen gering is. De meetperiode van 6 jaar is te kort om een trend te ontdekken.  
De waarnemingen worden slechts 1 maal per jaar verricht.
- De berekende langstransporten zijn het resultaat van een glijdende middeling. Hierbij worden fluctuaties verwaarloosd, die in werkelijkheid wel aanwezig kunnen zijn.
- De invloed van de strandhoofden is summier meegenomen in de berekening van de langstransporten.
- Het golfklimaat is beschreven door een gemiddeld jaar te nemen dat bepaald is uit een tienjarige meetperiode. Mogelijk is dit niet maatgevend voor de periode 1974-1980.

## 5.2 MEETNAUWKEURIGHEID IN STRANDWATERPASSINGEN

Bij de kuberingen van de kust wordt tevens het duin meegenomen.

In de strandwaterpassingen is tevens de hoogte van de boulevard te Scheveningen bepaald. De boulevard blijkt volgens deze waterpassingen jaarlijks in hoogte te variëren.

Over de meetperiode 1974 - 1980 is de standaardafwijking circa 12 cm.

Indien jaarlijks een systematische fout optreedt van enkele centimeters in de strandwaterpassingen, worden de kuberingen van het strand onbetrouwbaar.

De meetfout in de strandwaterpassingen heeft een aanzienlijke invloed op de spreidingen in de gemeten inhoudsverschillen.

Gesproken is over de meetfouten die optreden tijdens de hoogtemetingen van de kust boven de laagwaterlijn. Ook op zee worden tijdens lodingen van de vooroever meetfouten gemaakt.

De lodingen die met een echolood op zee gemaakt worden, zijn afhankelijk van de bewegingen van het meetvaartuig. Hierbij wordt gedacht aan slingeren, fouten in de plaatsbepaling, etc.

Het is moeilijk om deze fouten te schatten.

## 6. INITIELE KUSTONTWIKKELING

Aangenomen wordt dat het langstransport voor de kustuitbreiding weinig verschilt met het langstransport voor de huidige kust indien geen strandhoofden aanwezig zouden zijn. De reden hiervoor is dat de kustorientatie nagenoeg gelijk is.

Dit is te zien in figuur 1.1-1.

Uitgaande van de langstransporten wordt aan de hand van de continuïteitsvergelijking de achteruitgang of vooruitgang van een kustvak bepaald. De continuïteitsvergelijking is beschreven in de appendix A.3.

De kustontwikkeling kan niet met de bestaande KC/KL-programmatuur voor langere tijd bepaald worden, omdat voor de kustvakken geen kustconstanten bepaald kunnen worden met TAPRAM.

Daarom wordt de kustontwikkeling bepaald na 1 jaar. Voor de huidige kust moet eerst de kenmerkende hoogte bepaald worden waarover de geschematiseerde kust zich zeewaarts dan wel landwaarts beweegt.

Het dwarsprofiel van strand en vooroever is ongeveer in evenwicht.

Tabel 6.-1 geeft voor de Rijksstrandpalen RSP 117, RSP 110 en RSP 93 de gemiddelde hellingen. De tabel is ontleend aan het afstudeerwerk van D. Heineke, lit. /3/. Uit profielmetingen is gebleken dat weinig bodemveranderingen optreden beneden de N.A.P.-6 m dieptelijn.

De meewerkende profielhoogte wordt mede bepaald door de hoogte van het duin.

Bij lange duur processen zal het duin over de gehele hoogte meewerken aan de kustontwikkeling.

De duinhoogte boven N.A.P. is ca. 10 m. Waardoor de kenmerkende profielhoogte ca. 16 m is.



Voor 2 situaties wordt de initiele kustontwikkeling berekend.

- A. Een kustuitbreiding die ligt tussen de Noorderdam (Hoek van Holland) en het Zuiderhavenhoofd (Scheveningen). Deze kustuitbreiding is getekend in figuur 1.1-1.
- B. Een variant op de eerstgenoemde situatie is een uitbreiding, welke opgesloten ligt tussen de Noorderdam en een dam te Kijkduin. Deze variant is getekend in figuur 6,-1.

In figuur 6,-2 is voor de situatie A het langstransport getekend.

Hierbij moet opgemerkt worden dat het langstransport over ca. 1 km. afstand van de dammen geschat is.

De langstransportkromme voor situatie B is getekend in figuur 6,-3. Ook hier is over ca. 1 km afstand van de dammen het langstransport geschat.

Uitgaande van de twee bovengenoemde figuren is in tabel 6,-2 voor beide situaties de beweging van de kustlijn  $\Delta y$  berekend.

In figuur 6,-4 is voor situatie A de initiele kustontwikkeling geschetst en in figuur 6,-5 is deze geschetst voor situatie B.

Aangezien de kustlijn beweging  $\Delta y$  berekend is voor kustvakken met een lengte van 1 km, is de kustontwikkeling trapsgewijs.

7.

GOLFKLIMAAT

In het kader van het "Onderzoek naar de haalbaarheid van de Watermanlijn", lit./4/, heeft Rijkswaterstaat een kustmorfologische berekening gemaakt.

Hierbij is gebruikt gemaakt van de golfhoogteverdeling uit de periode 1972-1982.

Een gemiddeld jaar uit deze periode blijkt te verschillen met een gemiddeld jaar uit de periode 1951-1960.

Om enig inzicht te krijgen in het verschil in kansverdeling per golfrichting is voor beide golfhoogteverdelingen een Gumbel overschrijdingskromme getekend.

Uit de figuren 7.-1 t/m 7.-6 blijkt dat de krommen per golfrichting voor de periode 1951-1960 niet samenvallen met de krommen voor de periode 1972-1982.

Daar er een verschil in de overschrijdingskrommen is te ontdekken, zal er een verschil in de energieinhoud per golfrichting te verwachten zijn.

In tabel 7.-1 is per golfrichting voor beide golfhoogteverdelingen de gewogen golfenergie bepaald. Per golfrichting wordt de energieinhoud voor de periode 1951-1960 op 100% gesteld.

Zo is uit de genoemde tabel op te maken dat de energieinhoud van de golfrichtingen, die een zuidwaarts langstransport bewerkstelligen, uit de periode 1972-1982 kleiner is dan deze uit de periode 1951-1960.

Daarentegen is de energieinhoud van de golfrichtingen, die een noordwaartse langstransport bewerkstelligen, uit de periode 1972-1982 groter dan deze uit de periode 1951-1960.

Terwijl de maatgevende golfperiode voor beide meetperiodes nagenoeg gelijk zijn.

Er zal dus een verschillend resulterend langstransport optreden indien gebruik gemaakt wordt van de golfhoogteverdeling uit de periode 1972-1982.

Hoe veel dit resulterend langstransport verschilt met het resulterend langstransport berekend in dit rapport, is niet berekend.

Wel moet er rekening meegehouden worden dat trends in het golfklimaat invloed uitoefenen op het langstransport langs de kust.

De invloed van de golfhoogteverdeling op een morphologisch model is groot en bepaalt voor een groot deel de uitkomst van de langstransporten.

8. CONCLUSIES

Door de ingebrachte strandhoofdreductie zal het noordwaartse langstransport minder gereduceerd worden dan het zuidwaartse langstransport.

Echter de invloed van de strandhoofden in de berekening van de langstransporten is sterk geschematiseerd.

Voor een enkele golfhoogte is getracht de invloed van het strandhoofd op het langstransport te berekenen. (Appendix A, 2). Er is hier van uit gegaan dat binnen het strandhoofd geen langstransport optreedt, bij gebrek aan inzicht.

Er wordt verder verondersteld dat buiten het strandhoofd het langstransport ongehinderd plaats kon vinden.

Er is een vergelijking gemaakt van de gradient in het langstransport met de erosie en aanzanding uit natuurmetingen. Echter de natuurmetingen vertonen grote fluctuaties over de toch al zo korte meetperiode. Verwacht wordt dat een groot deel van de spreidingen bestaat uit meetfouten.

Voor twee varianten op de kustuitbreiding is de kustontwikkeling bepaald.

Omdat voor de kustvakken geen kustconstanten bepaald zijn is slechts over een korte periode, 1 jaar, de kustontwikkeling bepaald. Hierbij is het langstransport in de nabijheid van de dammen geschat, omdat in de schematisatie geen diffractie meegenomen kan worden.

Als het zand in beide situaties tussen de dammen opgesloten zit zal in situatie A ca. 500.000 m<sup>3</sup> zand gesuppleerd moeten worden en in situatie B ca. 450.000 m<sup>3</sup> per jaar om de voorgestelde kustlijn te handhaven.

## APPENDICES

## A.1 VERBAND LANGSTRANSPOORT EN ENERGIEINHOUD

De CERC-formule luidt:

$$S = A \cdot \frac{1}{8} \cdot g \cdot H_{br}^2 \cdot n_{br} \cdot c_{br} \cdot \sin \phi_{br} \cdot \cos \phi_{br}.$$

Met deze formule is voor de golfhoogteverdeling voor een bepaalde golfrichting het langstransport te berekenen.

Stel dat het langstransport gelijk is aan  $S_1$  en als de energieinhoud van de desbetreffende golfrichting

$$\frac{\sum (f_i \cdot H_{oi}^2)}{\sum (f_i \cdot H_{oi}^2)} \cdot S_1.$$

Hierin is  $\sum (f_i \cdot H_{oi}^2)$  de energieinhoud van de golfrichting na vermindering van de energiebijdrage van die golven die optreden bij waterstanden lager dan de kruin van de strandhoofden.

Dit is onder voorwaarde dat de maatgevende golfperiode niet verandert.

Na weglating van de golfenergie behorende bij de golven die optreden bij waterstanden lager dan de kruin van de strandhoofden, blijkt de maatgevende golfperiode weinig te veranderen. (Zie ook de tabellen 3.4-1 t/m 3.4-5).

In de schematisatie verandert het refractiepatroon niet en blijven  $\phi_{br}$  en  $n_{br}$  gelijk.

Uit het refractiebeginsel volgt:

$$E_o \cdot n_o \cdot c_o \cdot b_o = E_{br} \cdot n_{br} \cdot c_{br} \cdot b_{br},$$

zodat:

$$H_{br}^2 \cdot c_{br} = \frac{1}{2n_{br}} \cdot \frac{b_o}{b_{br}} \cdot H_o^2 \cdot c_o. \text{ Waarbij } \frac{1}{2n_{br}} \cdot \frac{b_o}{b_{br}}$$

constant is en  $C_o$  afhankelijk is van de golfperiode  $T$ .

$H_{br}^2 \cdot c_{br}$  is dan evenredig met  $H_o^2$ , als de maatgevende periode gelijk blijft.

Het gebruik maken van de maatgevende periode is een schematisatie. Er zal sprake zijn van een periode spectrum. Het weglaten van die golven die optreden bij waterstanden lager dan de kruin betekent dat golven met lage periode verwaarloosd worden.

Dit zal invloed hebben op  $\phi_{br}$  en nbr.

## A.2 LANGSTRANSPORTREDUKTIE (berekend met de Bijker-formule)

Met een rekenvoorbeeld wordt voor regelmatige golven berekend wat het verschil in langstransport is in het geval er geen strandhoofden aanwezig zijn en in het geval er wel strandhoofden aanwezig zijn.

Het langstransport zal met de Bijker-formule berekend worden. In geval van een met strandhoofden verdedigde kust zal ervan uitgegaan worden dat het resulterende langstransport binnen de koppen van de strandhoofden volledig geblokkeerd wordt.

En van de langsstroom buiten de koppen van de strandhoofden wordt verondersteld dat deze niet beïnvloed wordt door de strandhoofden.

In tabel A.2-1 zijn de parameters voor de kust en de invallende golf gegeven.

Tevens is in deze tabel uit die parameters de zeewaartse grens van de brekerzone bepaald.

Met behulp van de Bijker-formule wordt voor dit specifieke geval het langstransport berekend. Er zijn rekenstappen nodig om tot het uiteindelijke langstransport te komen.

Deze stappen zijn beschreven in tabel A.2-2 De uitkomsten van deze stappen zijn overgenomen in tabel A.2-3

Door nu volgens figuur A.2-1 het totale langstransport te berekenen over de hele raailengte en het langstransport over de raailengte buiten de kop van het strandhoofd, is de reductie van het strandhoofd op het totale langstransport te bepalen.

Het totale langstransport is  $192 \cdot 10^5$  M<sup>3</sup>/Jaar en het langstransport door invloed van het strandhoofd is gereduceerd tot  $156 \cdot 10^5$  M<sup>3</sup>/Jaar. Dat wil zeggen dat ca. 80% van het totale langstransport doorgang vindt.

Vergelijking van deze uitkomst met de reductiefactoren uit 3.7 is niet mogelijk omdat:

- de schematisaties verschillend zijn,
- bij de toepassing van de Bijker-formule met slechts een golfhoogte gerekend is.

Zowel bij de langstransportberekening met behulp van TAPRAM als de berekening met de Bijker-formule is de invloed van het strandhoofd grof geschematiseerd. De berekening met de Bijker-formule is verfijnder, maar de invloed van de strandhoofden op het langstransport blijft summier beschreven.



## A.3 CONTINUITEITSVERGELIJKING

Een gradient in het langtransport zal erosie of aanzanding veroorzaken.

Er wordt vanuit gegaan dat de kust horizontaal over een kenmerkende hoogte verplaatst in dwarsrichting.

In de een-lijn schematisatie wordt de kust geschematiseerd tot een blok dat over deze hoogte aanzandt of erodeert.

De volgende continuïteitsvergelijking is af te leiden.

Als een stukje kust met lengte  $dx$  over een tijd  $dt$  bestudeerd wordt zal deze kust over een afstand  $dy$  verplaatst zijn. Zie hiervoor figuur A.3-1.

De kust zal bewegen als er verschil bestaat in de in- en uitgaande langtransporten door de grenzen van het stukje kust.

Als  $h$  nu de kenmerkende profielhoogte is geldt:

$$S dt - (S + dS) dt = dx dy h$$

waarin:  $S$  = langtransport door raai  $x$

$S + dS$  = langtransport door raai  $x+dx$

Uitgaande van de formule  $\frac{\Delta S}{\Delta x} + \frac{h \Delta y}{\Delta t} = 0$  is uit de

langtransporten  $\frac{\Delta y}{\Delta t}$  te berekenen. Gekozen is voor een

kustvaklengte van  $\Delta x = 1$  km.

## LITERATUUR

1. Beschrijving computerprogramma's TRAM9 en TAPRAM  
Ingenieursbureau Svasek B.V.
2. "Coastal Engineering, volume 2, Harbor and beach  
problems" diktaat vakgroep kustwaterbouwkunde.
3. "Landaanwinning voor de kust van Delfland"  
Afstudeerwerk D. Heineke.
4. "Onderzoek naar de technisch haalbaarheid en de gevolgen  
van een kustuitbreiding tussen Hoek van Holland en  
Scheveningen"  
Eindrapport van de werkgroep kustmorphologie.