

734B

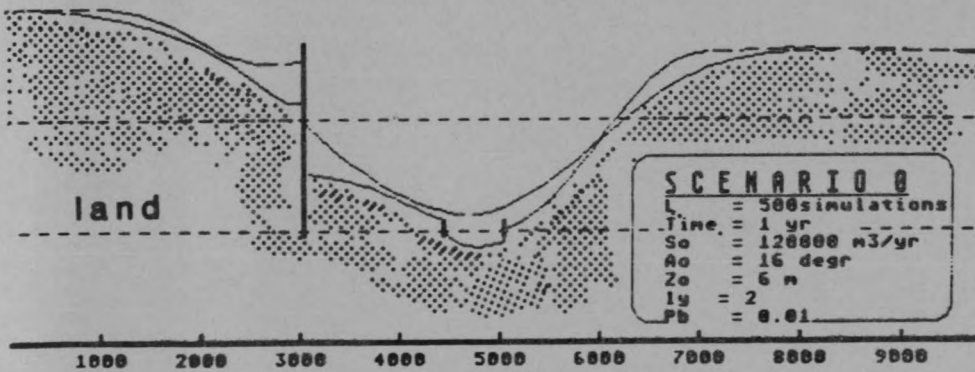
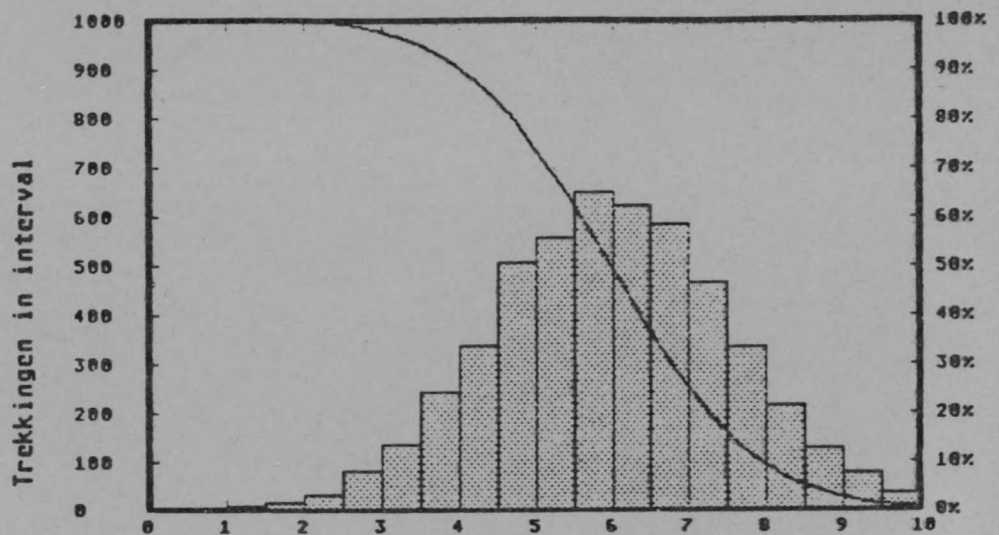
PROBABILISTISCHE KUSTLIJNBEREKENINGEN

met behulp van kustlijn simulatie model COSIM

DEEL II



zee



door G.J. Meijer

Technische Universiteit Delft
 Faculteit der Civiele Techniek
 Vakgroep Waterbouwkunde

AVECO



Infrastructure Consultants bv.

PROBABILISTISCHE
KUSTLIJNBEREKENINGEN

Met behulp van kustlijn simulatiemodel COSIM

DEEL II

G.J. Meijer

Januari 1988

Begeleiding:
Drs. Ir. J.K. Vrijling

Ir. F.R. Redeker

Technische Universiteit Delft
Faculteit der Civiele Techniek
Vakgroep Waterbouwkunde

AVECO
Infrastructure Consultants bv
Rotterdam

INHOUD DEEL II

	<u>Pagina</u>
1. DETERMINISTISCHE VALIDATIE VAN COSIM	II. 1
1.1 INLEIDING	II. 1
1.2 MODEL	II. 2
1.3 VERGELIJKING ANALYTISCH-COSIM	II. 5
1.4 VERGELIJKING COSIM-NIET LINEAIR MODEL	II. 9
1.5 KONKLUSIES	II. 11
2. PROBABILISTISCHE EXPERIMENTEN MET THEORETISCHE KUSTLIJN A	II. 12
2.1 INLEIDING	II. 12
2.2 MODEL	II. 13
2.3 SIMULATIES	II. 15
2.3.1 Deterministische simulatie	II. 15
2.3.2 Nivo-3 berekeningen	II. 16
2.3.3 Nivo-2 berekeningen	II. 21
2.4 KONKLUSIES	II. 27
3. PRAKTISCHE STUDIE LOBITO, ANGOLA	II. 28
3.1 INLEIDING	II. 28
3.2 PROBABILISTISCHE BENADERING	II. 29
3.3 VERWERKING VAN DE MEETGEGEVENS	II. 31
3.4 SIMULATIES	II. 39
3.4.1 Scenario 1	II. 39
3.4.2 Scenario 2	II. 41
3.4.3 Scenario 3	II. 44

INHOUD DEEL II (vervolg)

	<u>Pagina</u>	
3.5	ALGEMENE RESULTATEN	II.47
3.6	KONKLUSIES	II.53
4.	DELPHI INTERVIEW	II.56
5.	PROBABILISTISCHE EXPERIMENTEN MET THEORETISCHE KUSTLIJN B	II.59
5.1	INLEIDING	II.59
5.2	PROBLEEMBESCHRIJVING	II.60
5.3	FYSISCH MODEL	II.60
5.4	SIMULATIE 1	II.61
5.5	SIMULATIE 2	II.64
6.	RANDOM GENERATOR VALIDATIE	II.70
6.1	INLEIDING	II.70
6.2	SOMMATIEMETHODE	II.70
6.3	POLAIRE METHODE	II.71
6.4	MODEL	II.71
6.5	RESULTATEN	II.72

BIJLAGE

1. DETERMINISTISCHE VALIDATIE VAN COSIM

1.1 INLEIDING

Zoals in hoofdstuk 4.1 beschreven is, zijn numerieke oplossingen afgeleid van analytische differentiaalvergelijkingen. Door het schrijven in een numerieke vorm is het vaak mogelijk een oplossing te geven voor een complex stelsel differentiaalvergelijkingen die moeilijk analytisch oplosbaar zijn. Een vergelijking tussen het numerieke model COSIM en een analytische oplossing is zinvol onder omstandigheden waarbij de analytische vergelijking eenvoudig oplosbaar is.

Verder kan een vergelijking worden gemaakt met berekeningen gebaseerd op andere aannamen. Zo is het programma COSIM gebaseerd op een lineaire relatie tussen de hoek van golfval en het zandtransport. Een vergelijking lijkt zinvol met een COSIM berekening die uitgaat van een niet-lineaire relatie tussen deze variabelen. Deze relatie wordt ook veel toegepast in kustwaterbouwkundige studies, zodat met deze vergelijking de orde van grootte van de numerieke onnauwkeurigheden beter kan worden beoordeeld.

De aanzanding aan de loefzijde van een oneindig lang strandhoofd is een berekening die goed analytisch uitvoerbaar is en daarom is deze situatie gekozen voor zo'n vergelijking.

Doelstellingen

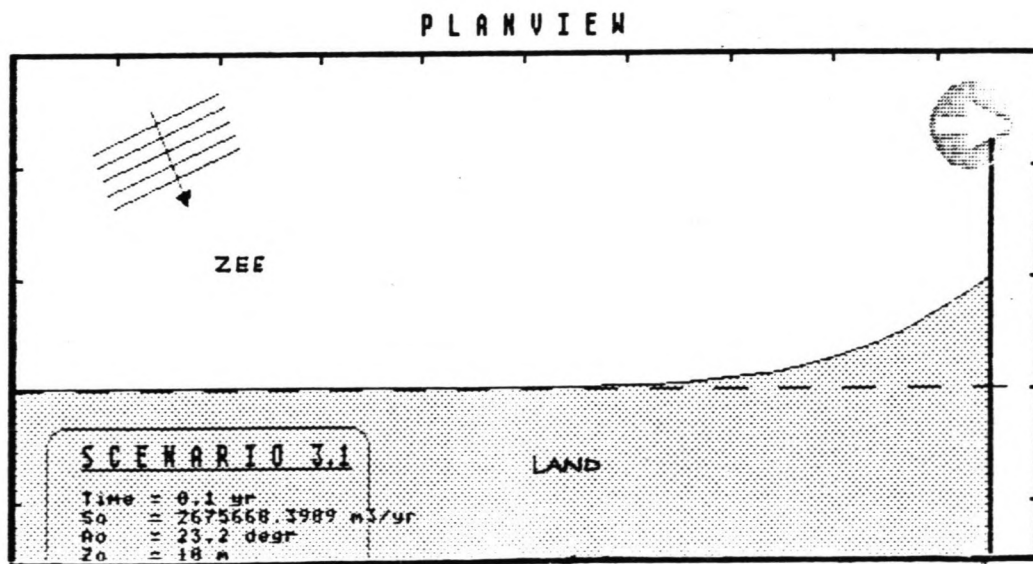
- A. Het vaststellen met welke nauwkeurigheid COSIM de kustontwikkeling simuleert t.o.v. een analytische 1-lijn-oplossing onder variërende omstandigheden (= invoerwaarden).
- B. De bijdrage van verschillende variabelen aan de nauwkeurigheid van het COSIM resultaat.
- C. Het vergelijken van berekeningen met verschillende aannamen voor de kustkonstante s_x :
 - het zandtransport is lineair afhankelijk van de evenwichtshoek;
 - het zandtransport heeft een niet-lineaire relatie met de evenwichtshoek (= hoek op diep water).

Uitgangspunten

1. Onderzoek naar een kustdeel direkt aan de loefzijde van een oneindig lang strandhoofd.
2. Variërende waarden voor:
 - actieve wig Z
 - zandtransport S_0
 - evenwichtshoek A_0
 - lengtestap D_x
3. De analytische oplossing waarmee wordt vergeleken is de oplossing zoals is afgeleid door Pelnard-Considère [Massie].
4. Experimenten worden uitgevoerd met steeds één variërende waarde voor bovenstaande variabelen. De andere variabelen worden dan konstant genomen. Zo kan de invloed op de nauwkeurigheid worden vastgesteld door veranderende variabelen.

1.2 MODEL

Voor de vergelijking zoals gesteld onder de uitgangspunten zal de beschouwde kustlengte worden ingedeeld met een rechte kust en een strandhoofd aan het uiteinde van het beschouwde kustdeel, zie fig(1.1).



Randvoorwaarden

Randvoorwaarden die volgen uit het eerste uitgangspunt zijn:

- geen zandtransport langs de kop van het strandhoofd; al het zand wordt voor het strandhoofd gevangen;
- het zandtransport aan de linker rand mag niet beïnvloed worden door de aanwezigheid van het strandhoofd.

Ten aanzien van de laatste randvoorwaarde is door Bijker [Massie] een criterium afgeleid voor het vaststellen over welke lengte de invloed van het strandhoofd te verwaarlozen is:

$$X = 5 \sqrt{\frac{s_x t}{Z}} \quad (19)$$

waarin:

- X = plaats koördinaat langs de x-as
- s_x = kustkonstante
- t = simulatietijd
- Z = actieve wig

Met deze opgestelde uitgangspunten en randvoorwaarden is een tabel opgesteld met waarden voor konstante invoerparameters en waarden voor variabelen:

KONSTANTEN

Simulatietijd $T_m = 1$ jaar
Kustlengte $L_c = 1500$ m
golfhoogte op diep water = 1.5 [m]
golfperiode op diep water = 4 [s]

VARIABELEN

Aktieve wig Z van 2.5 [m] t/m 15 [m]
Zandtransport S_o van 50,000[m³/j] t/m 300,000[m³/j]
Hoek op diep water A_o van 5 [graden] t/m 45 [graden]
Lengtestap D_x van 10 t/m 50 [m]

Tabel 1.1

De analytische oplossing, waarmee COSIM berekeningen worden vergeleken wordt hier kort herhaald:

$$Y_{anal} = 2 \sqrt{\frac{S_o \cdot t \cdot A_e}{\pi \cdot Z}} \quad (27)$$

waarin:

So	=	het zandtransport langs ongestoorde referentiekust	[m ³ /j]
Ae	=	golfhoek op de dieptelijn die niet meer onder invloed zal zijn van kustveranderingen, aangenomen op diep water	[°] <i>raad</i>
Z	=	aktieve wig	[m]
t	=	tijdsduur	[j]

De experimenten zijn uitgevoerd met steeds één variërende variabele:

- variërende actieve wig Z van 2.5 [m] t/m 15 [m]
- variërend zandtransport So van 50000[m³/j] t/m 300000[m³/j]
- variërende hoek op diep water Ao van 5 [graden] t/m 45 [graden]
- variërende stapgrootte Dx van 10,25,50 [m].

Om de invloed te bepalen van de grootte van Dx op de nauwkeurigheid van COSIM t.o.v. de analytische oplossing is elk experiment voor 3 verschillende grootten Dx uitgevoerd. De grootte van Dx heeft in COSIM rechtstreeks invloed op de grootte van Dt vanwege de Courant-eis voor stabiliteit. In het COSIM model wordt Dx ingevoerd en Dt daaruit vastgesteld via:

$$Dt = \frac{.95 \cdot Dx^2}{2 \cdot Dmax} \quad (28)$$

waarin:

$$Dmax = \frac{So}{Ae \cdot Zo} \quad (29)$$

Uit de keuze van Dx en de vastgestelde simulatietijd Tm kan worden afgeleid in hoeveel tijdstappen de kustontwikkeling wordt gesimuleerd. De uitersten van deze waarden voor de verschillende experimenten met variërende Ae, Zo, en So volgen in tabel [1.2].

Variabele	Dx=10 Dt=	Aantal Tijdst.	Dx=50 Dt=	Aantal Tijdstappen
Ae=5	.0000925	10810	.0023	435
45	.000148	6756	.0037	270
Zo=2.5	.0003109	3217	.0077	128
15	.001865	536	.0466	21
So=50000	.00249	402	.0622	16
300000	.000415	2412	.001	965

Tabel 1.2

De berekeningen met $Dx = 50$ m. en waarden van $Z = 15$ m. en $So = 50000$ m³/j zullen het minste simulatietijd vergen, omdat in minder dan 50 stappen de simulatie wordt uitgevoerd. De berekening met $dx = 10$ m en $Ae = 5$ graden zal het meeste tijd vergen.

1.3 VERGELIJKING ANALYTISCH-COSIM

Steeds is per simulatie één van de variabelen gevarieerd. De andere waarden zijn konstant gesteld op een gemiddelde. Zo is de invloed op de nauwkeurigheid in de kustontwikkeling te meten met behulp van de verandering van de bewuste variabele.

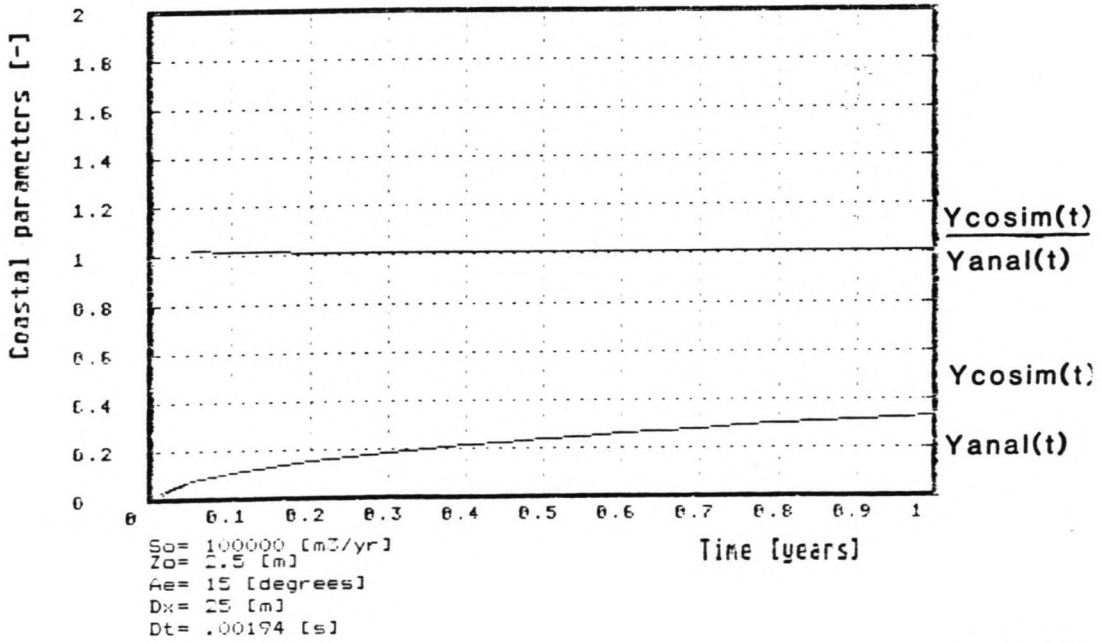
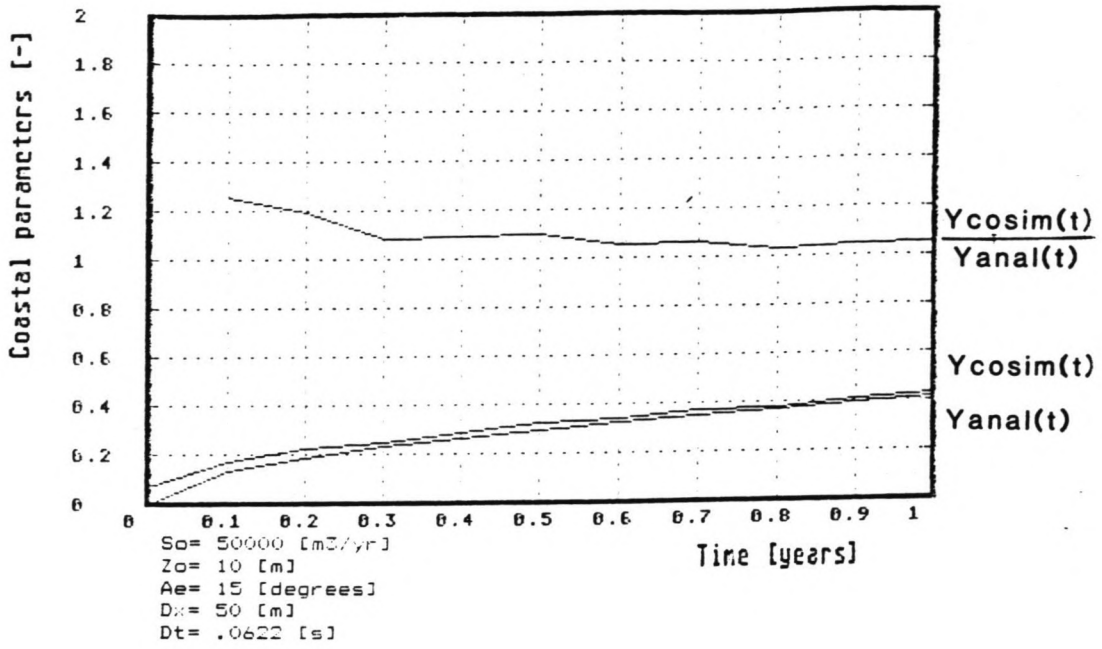
Voor deze simulaties is uitgegaan van het COSIM model met een lineaire afhankelijkheid tussen de hoek van golfval en het zandtransport. Deze variabelen zijn onafhankelijk ingevoerd. Bij het variëren van de hoek op diep water blijft het zandtransport konstant.

Resultaten

De uiteindelijke waarden van de berekeningen aan het eind van de simulatietijd zijn in tabelvorm gepresenteerd, en voor het verloop van de aanzanding tegen het strandhoofd in één simulatie zijn twee van de figuren gepresenteerd. Naast de ontwikkeling in de tijd van de kustlijn direct aan de loefzijde van het strandhoofd, is in fig.(1.2) ook weergegeven het quotiënt van de analytische en numerieke berekening (modelfactor).

Alle waarden van deze modelfactor aan het einde van elke simulatie ($T=1$ jaar) zijn weergegeven in tabel 1.3

VARIABELE Ao	MODELFAKTOR Ycosim/Yanal	VARIABELE So	MODELFAKTOR Ycosim/Yanal
5	1.00	50000	1.00
10	1.00	100000	1.00
15	1.00	150000	1.00
20	1.00	200000	1.00
25	1.00	250000	1.00
30	1.00	300000	1.00
35	1.00		
40	1.00		
<hr/>			
Z	Ycosim/Yanal		
2.5	1.00		
5	1.00		
7.5	1.00		
10	1.00		
12.5	1.00		
15	1.00		



fig(1.2)

Zoals blijkt zijn na simulaties met $Dx = 10$ [m.] geen van de quotiënten tussen de analytische berekening en COSIM berekening ongelijk aan 1.

De resultaten van dezelfde simulatie, maar dan met een lengtestap $Dx = 25$ [m] volgen hieronder:

VARIABELE Ao	MODELFAKTOR Ycosim/Yanal	VARIABELE So	MODELFAKTOR Ycosim/Yanal
5	1.00	50000	1.01
10	1.00	100000	1.00
15	1.00	150000	1.00
20	1.00	200000	1.00
25	1.00	250000	1.00
30	1.00	300000	1.00
35	1.00		
40	1.00		
45	1.00		

Zo	Ycosim/Yanal
2.5	1.00
5	1.00
7.5	1.00
10	1.00
12.5	1.00
15	1.01

Tabel 1.4

De eerste afwijkingen van 1.00 in het quotiënt van COSIM uitkomsten en analytische uitkomsten verschijnen in simulaties met minder dan 50 iteratiestappen.

Voor een lengtestap $Dx = 50$ meter zijn de resultaten als volgt:

Ao	Ycosim/Yanal	So	Ycosim/Yanal
5	1.00	50000	1.05
10	1.00	100000	1.02
15	1.00	150000	1.02
20	1.00	200000	1.01
25	1.01	250000	1.01
30	1.01	300000	1.01
35	1.01		
40	1.01		
45	1.01		

Zo	Ycosim/Yanal
2.5	1.01
5	1.01
7.5	1.01
10	1.02
12.5	1.02
15	1.02

Tabel 1.5

De afwijkingen van de analytische oplossing in berekeningen van 1 jaar simulatietijd zijn uiteindelijk in deze simulaties niet groter dan 5%.

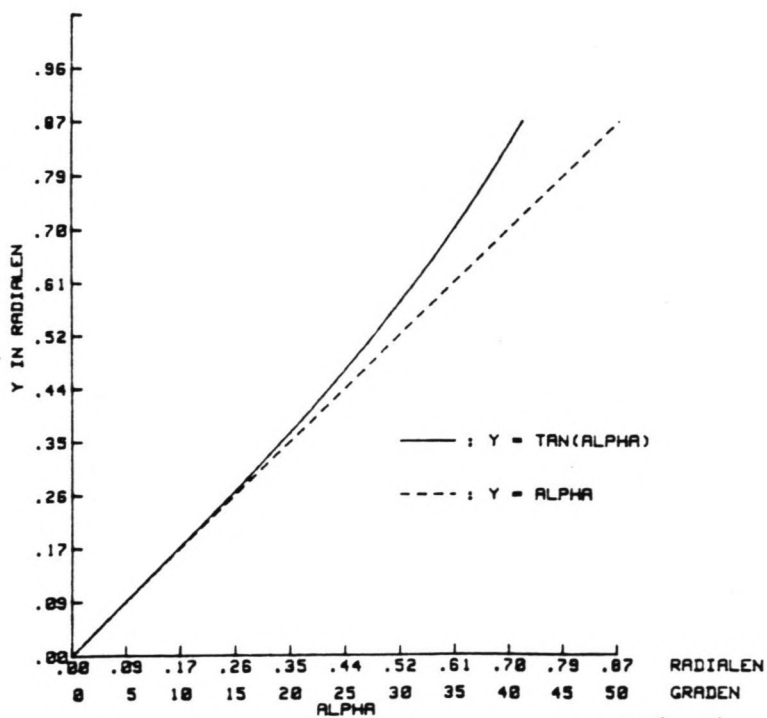
Uit de resultaten blijkt dat:

- Uit de figuren blijkt dat de modelfactor steeds vooral in de eerste stappen van de simulatie ongelijk is aan 1. De onnauwkeurigheid in de simulatie neemt steeds meer af naarmate deze vordert. Deze grotere verschillen in het begin van de simulatie kunnen deels verklaard worden uit het feit dat COSIM de kustontwikkeling niet berekend op het punt direkt tegen het strandhoofd, omdat dit strandhoofd geplaatst wordt op $I + .5.Dx$. Om voor deze experimenten toch een waarde van de kustontwikkeling te vinden tegen de groin is op de waarde van $Y(I)$ gesuperponeerd:

$$Y_{\text{korrektie}} = .5.Dx.tan(Ae)$$

Vooraf voor grote hoeken van golfival ten opzichte van de kustligging en met grote lengtestappen is de dan berekende waarde een te grote benadering.

- De experimenten met een lengtestap van $Dx = 50$ [m] leveren grotere onnauwkeurigheid op bij de simulatie van een jaar. Dit wordt veroorzaakt door:
 - . de oorzaak zoals hierboven beschreven is;
 - . de aanname dat de kustoriëntatie gelijk is aan dY/dX , terwijl bij de analytische berekening gebruik wordt gemaakt van de hoek Ae , zie fig.(1.3).



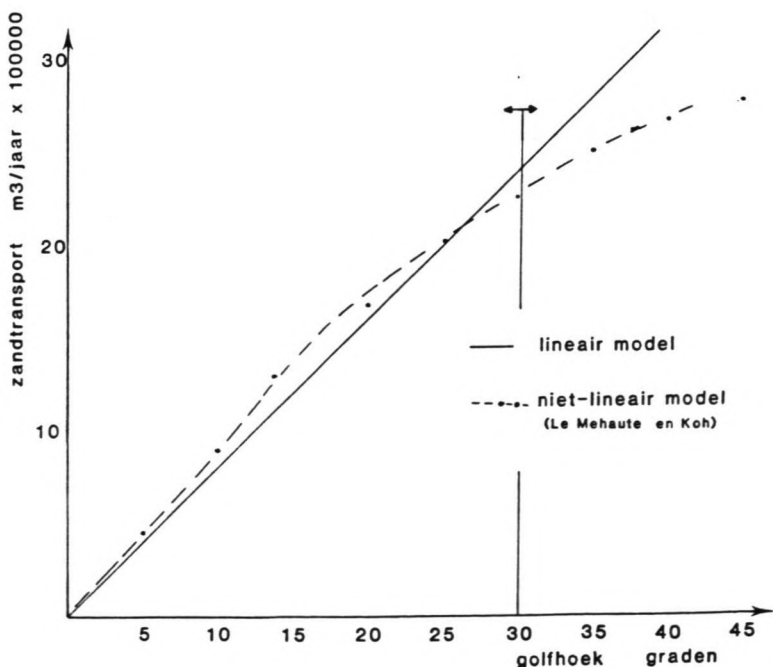
fig(1.3)

1.4 VERGELIJKING COSIM-NIET LINEAIR MODEL

In deze paragraaf worden de resultaten besproken van simulaties voor het verwezenlijken van doelstelling C.

Lineaire relatie zandtransport en evenwichtshoek

Deze simulaties zijn uitgevoerd met een variërende hoek van golfinval op diep water in het originele COSIM model, dat lineariteit aanneemt tussen het zandtransport en de hoek op diep water, zie fig.(1.4).



fig(1.4)

Niet-lineaire relatie zandtransport en evenwichtshoek

Deze simulaties zijn uitgevoerd met dezelfde variërende evenwichtshoek op diep water, echter met een gewijzigd model voor de berekening van het zandtransport. Met dit experiment is getracht een vergelijking te maken tussen de klassieke één-lijn theorie en een ingewikkelder model. Voor het berekenen van de golfhoek in de transportzone (= brekerzone) bij verschillende hoeken van golfinval op diep water is in navolging van Schinagl gebruik gemaakt van een formule van Le Mehaute en Koh [Le Mehaute en Koh]:

$$A_b = A_o \cdot \left(.25 + 5.5 \cdot \frac{H_o}{L_o} \right) \quad (30)$$

waarin:

A_b = golfhoek in de brekerlijn [rad]
 A_o = golfhoek op diep water [rad]
 H_o = golfhoogte op diep water [m]
 L_o = golflengte op diep water [m]

Met deze formule wordt zonder een refraktieberekening te maken een hoek bepaald van de golven in de brekerzone. Hiermee wordt uiteindelijk een relatie tussen de hoek op diep water en het zandtransport vastgelegd als weergegeven in fig.(1.2). De brekerhoek is steeds ingevoerd in de CERC formule om het zandtransport langs de ongestoorde referentiekust te bepalen:

$$S_o = F \cdot \cos A_o \cdot \sin A_b \quad (31)$$

waarin:

A_o = golfhoek op diep water, evenwichtshoek in model [rad]
 A_b = golfhoek in transportzone [rad]
 S_o = zandtransport [m³/s]

$$F = .02 \cdot C_o \cdot H_o^2$$

Waarin:

C_o = golfsnelheid op diep water [m/s]
 H_o = golfhoogte op diep water [m]

Resultaten

Zoals uit fig.(1.2) voor de gedane aannamen te verwachten was, neemt de afwijking van de twee modellen toe bij hoeken van golfinval groter dan 30 graden.

Dit blijkt ook uit tabel 1.6 waar de aanzanding van de kust is weergegeven direkt aan de loefzijde van het strandhoofd. Uit deze tabel blijkt verder ook dat de verschillen tussen deze waarden aanzienlijk groter zijn dan de verschillen in de uitkomsten in de vergelijking van de analytische berekeningen en de numerieke.

AANZANDING DIREKT LOEF VAN HET STRANDHOOFD

Golfhoek op

diep water

Ao [graden]	Lineair	Niet lineair	Afwijking
5	24.90 [m]	22.30 [m]	11%
10	41.81 [m]	44.31 [m]	6%
15	62.73 [m]	65.77 [m]	5%
20	83.68 [m]	86.41 [m]	
25	104.66 [m]	105.92 [m]	
30	125.68 [m]	124.08 [m]	
35	146.76 [m]	140.53 [m]	
40	167.91 [m]	154.99 [m]	8%
45	189.18 [m]	167.28 [m]	13%

Tabel 1.6

1.5 KONKLUSIES

Berekeningen met het model COSIM voor kustontwikkeling voor een strandhoofd volgen het analytische één-lijn model over het algemeen goed. Als de simulatie wordt uitgevoerd met meer dan 50 tijdstappen is de numerieke onzekerheid van COSIM te verwaarlozen (kleiner dan 1%). Zeker als deze onzekerheid wordt vergeleken met de modelonzekerheid van het één-lijn model. De laatste simulaties geven aan dat in de resultaten van beide modellen afwijkingen voorkomen van 10%. Naarmate de hoek van golfval groter wordt, zal de lineaire relatie tussen golfhoek en zandtransport een minder nauwkeurige benadering van de werkelijkheid zijn.

Het inbouwen van een modelfactor in het lineaire model of van de hele niet-lineaire theorie zou een mogelijkheid zijn om de onzekerheid te verkleinen. Vanwege de onzekerheid in de nauwkeurigheid van het lineaire model zelf lijkt het logischer slechts te wijzen op de beperkte betrouwbaarheid van de resultaten met COSIM bij grote hoeken van golfval. Voor praktische studies zal blijken dat het gebruik van het niet lineaire model geen overwegende voordelen biedt vanwege:

- het slechts zelden voorkomen van grote hoeken van golfval;
- de moeilijke bepaling van de noodzakelijke variabelen voor een niet-lineaire relatie.

2. PROBABILISTISCHE EXPERIMENTEN MET EEN THEORETISCHE KUSTLIJN A

2.1 INLEIDING

In dit hoofdstuk worden experimenten beschreven die zijn uitgevoerd met een zelf opgestelde theoretische kustlijn. Het doel is onderzoek te doen naar de stochastische onzekerheid in de kustontwikkeling. Fouten en onzekerheden in het model worden hiermee buiten beschouwing gelaten.

Doelstelling

Het verkrijgen van inzicht in:

- de verhouding tussen de onzekerheid in de invoervariabelen en de spreiding in de kustontwikkeling zoals berekend met het model COSIM;
- bijdragen van spreiding in de waarden van de ingevoerde variabelen aan de onzekerheid van de kustlijnontwikkeling;
- de toepasbaarheid en betrouwbaarheid van probabilistische kustlijnberekeningen op zowel nivo-2 als nivo-3.

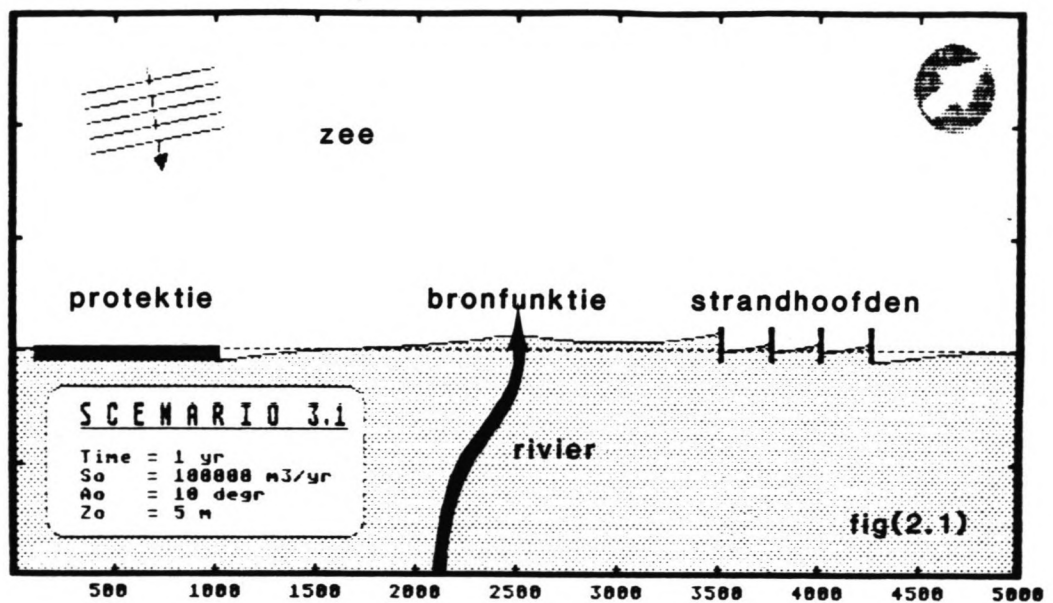
Uitgangspunten

- Simulatietijd 5 jaar;
- Stochastische invoer voor de volgende variabelen:
 - . S_0 , het zandtransport
 - . A_e , de evenwichtshoek
 - . Q_s , zandlozing van een rivier
 - . Z_0 , de actieve wig van het profiel
 - . L_y , de variabele voor de invloed in schaduwzone van een strandhoofd
 - . L_{eff} , de effectieve lengte van konstrukties;
- De hiervoor genoemde invoervariabelen worden volledig onafhankelijk verondersteld;
- De variabele waarden worden aangenomen volledig gekorreleerd te zijn langs de kust. Eén getrokken waarde geldt voor de hele kust;
- De variabele waarden worden ook volledig gekorreleerd aangenomen over de simulatietijd van 5 jaar. Eén getrokken waarde geldt voor de hele simulatie;
- de stochastische variabelen zijn allemaal normaal verdeeld aangenomen;
- extreme waarden worden getoetst gedurende de gehele simulatie.

2.2 MODEL

Fysisch Model

Voor de simulaties is het volgende model opgesteld:



Waar in:

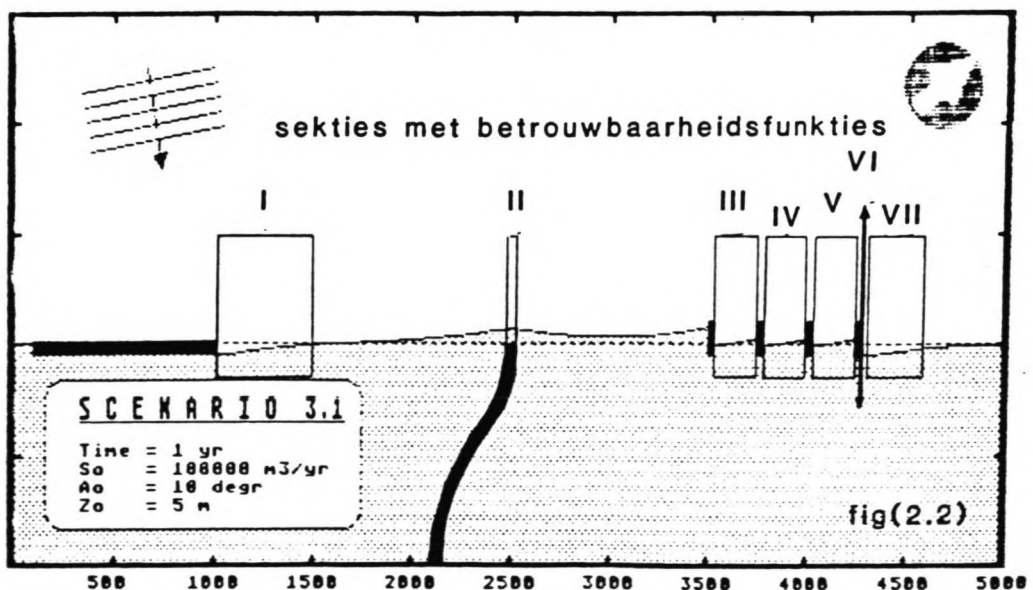
- | | | |
|---------------------------------|-------------|---------------------|
| - kustlengte | = 5000 | [m] |
| - dx | = 50 | [m] |
| - simulatietijd Tm | = 5 | [yr] |
| - kustprotektie op x-koördinaat | = 0-1000 | [m] |
| - strandhoofden op x-koördinaat | = 3500 | [m] |
| | 3750 | [m] |
| | 4000 | [m] |
| | 4250 | [m] |
| - zandlozing uit riviermond | | |
| x-koördinaat | = 2400-2600 | [m] |
| - Randvoorwaarden: | | |
| zandtransport links | = 0 | [m ³ /y] |
| zandtransport rechts | = So | [m ³ /y] |

Probabilistisch Model

Voor elke simulatie zijn langs de kust 7 betrouwbaarheidsfuncties opgesteld. In deze betrouwbaarheidsfunctie worden extreme waarden van de ligging van de kustlijn en het zandtransport ($Y(I), S(I)$) getoetst gedurende de gehele simulatie. De betrouwbaarheidsfunctie kan zijn gedefinieerd op een plaatsstap dx langs de kust en langs meerdere plaatsstappen dx langs de kust.

Eén en ander is uitgewerkt in het volgende schema:

Plaats	Kode	X-koördinaat	Betrouwbaarheidsfunctie
Sektie I	P1	= 1000- 1500 [m]	Maximum erosie
Sektie II	P2	= 2500 [m]	Maximum aanzanding
Sektie III	P3	= 3500-3750 [m]	Maximum erosie
Sektie IV	P4	= 3750-3850 [m]	Maximum erosie
Sektie V	P5	= 4000-4100 [m]	Maximum erosie
Sektie VI	P6	= 4250 [m]	Maximum zandtransport
Sektie VII	P7	= 4250-4350 [m]	Maximum erosie



De betrouwbaarheidsfunctie voor elke sectie is als volgt opgesteld:

$$Z_n = R_n - B_n \quad (12)$$

Waarin:

- B = maximum zandtransport/kustlijpositie volgens COSIM gegeven de stochastische invoer van variabelen
- R = maximale toegestane waarde voor de erosie/aanzanding/zandtransport
- Z = betrouwbaarheidswaarde, deze wordt negatief in het geval van falen
- n = saktienummer langs de kust

De verdelingen van de stochastische invoervariabelen zijn hieronder weergegeven:

Variabele		Gem. waarde	Stand. Afwijking	Variatie koef.
zandtransport	So	100000 [m ³ /y]	20000 [m ³ /y]	20%
aktieve wig	Zo	5 [m]	1 [m]	20%
evenwichtshoek	Ao	10 [degr]	1 [degr]	10%
lyvariabele	Ly	2 [-]	1 [-]	50%
effektieve lengte	Leff	100 [m]	10 [m]	10%
rivier lozing	Qs	200000 [m ³ /y]	75000 [m ³ /y]	38%

2.3 SIMULATIES

2.3.1 Deterministische simulatie

Doelstelling

Het verkrijgen van deterministisch vergelijkingsmateriaal voor probabilistische simulaties.

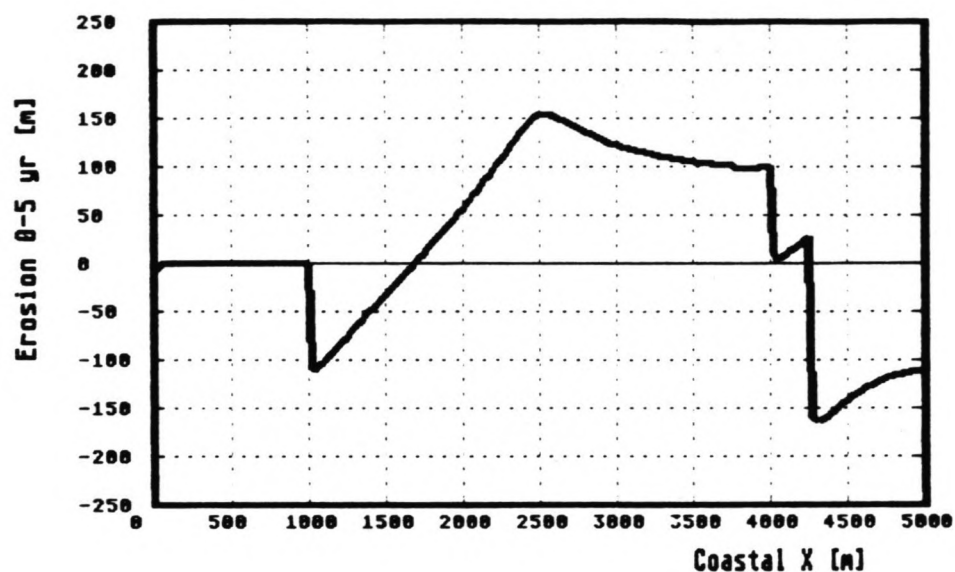
Uitgangspunten

- invoervariabelen hebben de gehele simulatie de gemiddelde waarde van de stochastische verdeling;
- uitgangspunten zoals gesteld in 2.1.

Resultaat

In fig.(2.3) is een overzicht gegeven van de deterministische kustontwikkeling na 5 jaar.

Voor de extreme waarden voor de opgestelde betrouwbaarheidsfuncties wordt verwezen naar de verwerking van de volgende simulaties.



Fig(2.3)

2.3.2 Nivo-3 Berekening

Doelstelling

Het bepalen van stochastische onzekerheid in de kustlijnpositie en het zandtransport met behulp van de Monte-Carlo-methode.

Uitgangspunten

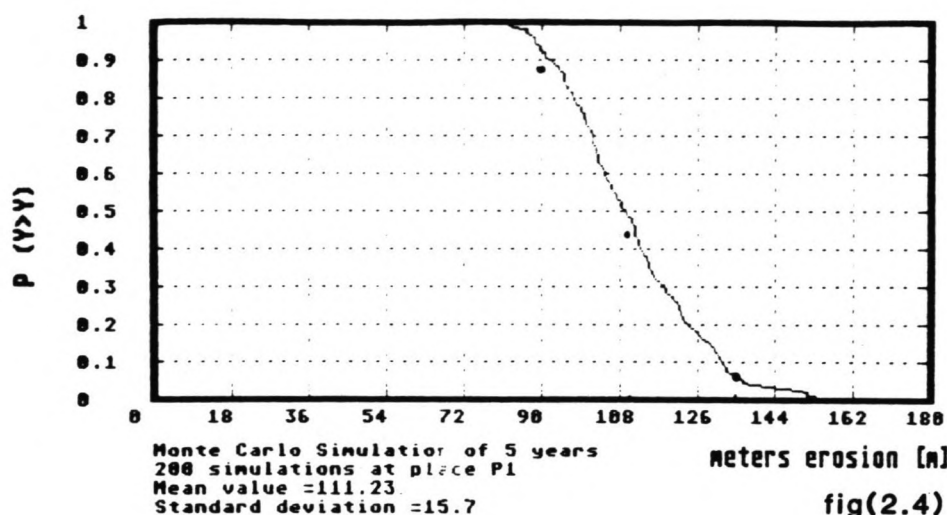
- simulatietijd 5 jaar;
- 4 series van 200 simulaties, totaal 800 simulaties;
- alle zes de stochastische invoervariabelen worden zoals hiervoor beschreven getrokken;
- algemene uitgangspunten als in (2.1).

Uitvoer

Gekozen is voor het weergeven van resultaten in tabelvorm, en met overschrijdingskrommen/kansdichtheidsfuncties voor de gedefinieerde betrouwbaarheidsfuncties langs de kust.

Resultaten

SEKTIE I: Direkt rechts van de protektie



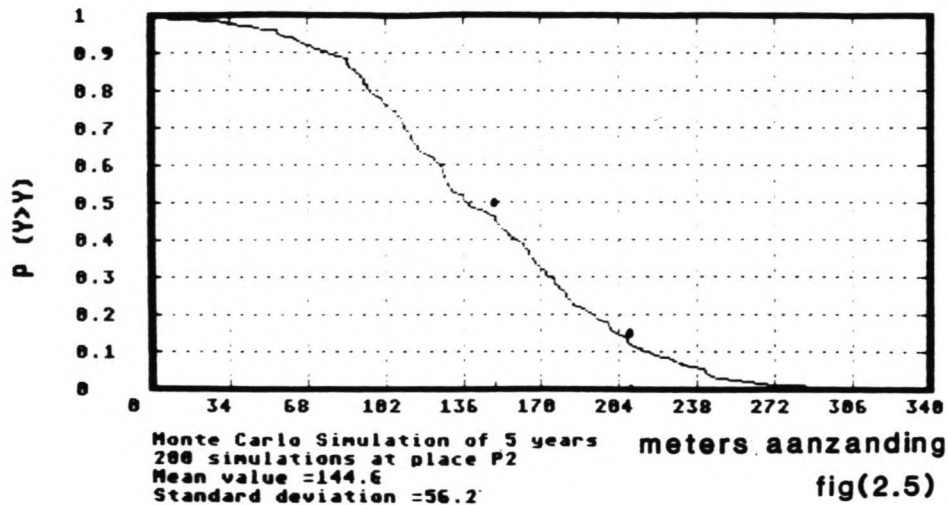
De volgende tabel laat zien dat de gemiddelde maximale kustachteruitgang op $x = 1000$ m niet ver van de deterministische waarde afligt. Verder is het verschil tussen de berekende waarden van de vier afzonderlijke tests niet groot. De som van de afzonderlijke resultaten staat in het staatje onder 800*. Opvallend is dat de variatie ongeveer 15% is. Dit ligt tussen de variaties van de invoervariabelen, zie paragraaf 2.2. Op de ingetekende punten in fig.(2.4) wordt teruggekomen in 2.3.3.

Maximale erosie $x = 1000$ m

	Test 1	Test 2	Test 3	Test 4	800*	Det.
Gemiddelde waarde [m]	107.0	104.8	111.2	106.6	107.4	111.4
Standaard afwijking [m]	16.3	15.6	15.8	14.6	15.6	
Variatie	15%	14%	14%	14%	14.5%	

SEKTIE II: Bij de monding van de rivier

Grootste waarden van kustvooruitgang op de plaats $x = 2500$ m.



Maximale aanzanding $x = 2500$ m

	Test 1	Test 2	Test 3	Test 4	800*	Det.
Gemiddelde waarde [m]	153.2	154.2	144.7	153.3	151.4	152.2
Standaard Afwijking [m]	59.6	59.7	56.3	51.3	56.8	
Variatie	39%	38.7%	38.9%	33%	37.5%	

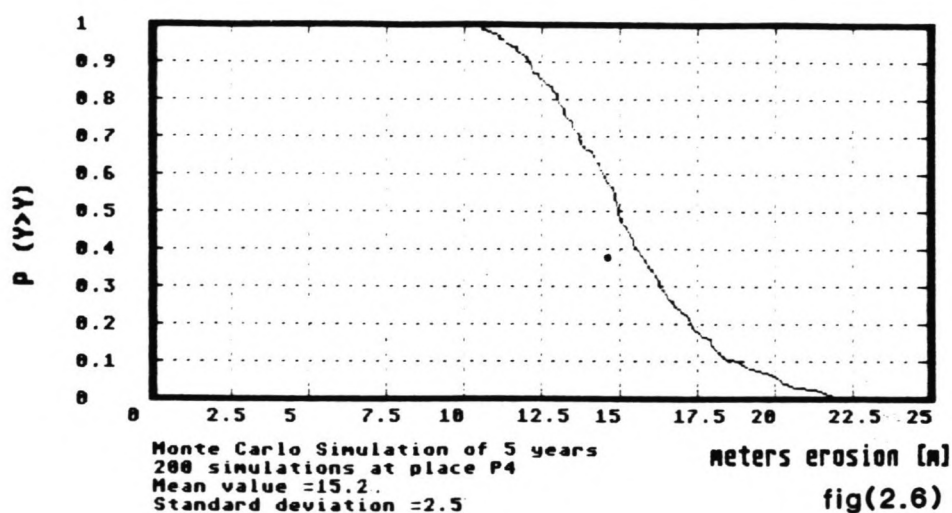
De grote variatie in deze sectie wordt veroorzaakt door en is gelijk aan de grote variatie in de stochastische zandlozing door de rivier. De rivier lost gemiddeld $200.000 \text{ [m}^3/\text{j]}$ zand in zee, met een standaardafwijking van $75.000 \text{ [m}^3/\text{j]}$, dus met een variatie van 38%. Deze waarde wordt in het model ingevoerd op exakt de plaats waar voor deze sectie de extremen worden gemeten.

SEKTIE III t/m V: Bij de groep strandhoofden

De grootste waarden van kustachteruitgang in de kustsecties tussen de strandhoofden worden hierna in tabel gepresenteerd. Omdat de resultaten voor de secties III t/m V vrijwel overeenkwamen worden deze tegelijk besproken.

Maximale erosie x = 3500 - 4100 m

	Test 1	Test 2	Test 3	Test 4	800*	Det.
Gemiddelde waarde [m]	13.7	13.5	15.3	13.9	14.1	15.4
Standaard afwijking [m]	2.8	2.9	2.6	2.7	2.75	
Variatie	20.4%	21.4%	17.0%	19.4%	19.5%	



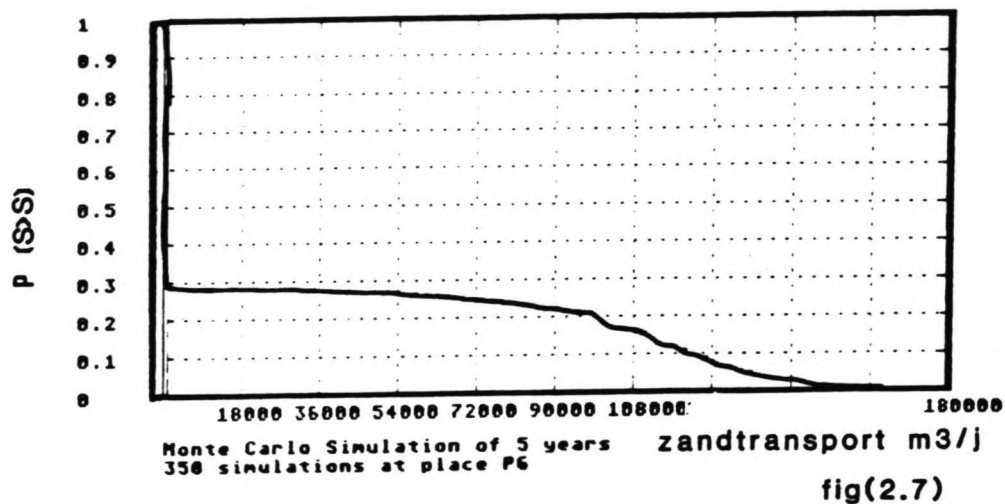
SEKTIE VI: Op de kop van het laatste strandhoofd

Grootste waarden van het zandtransport langs het strandhoofd op x = 4250 m.

Maximaal zandtransport x = 4250 m

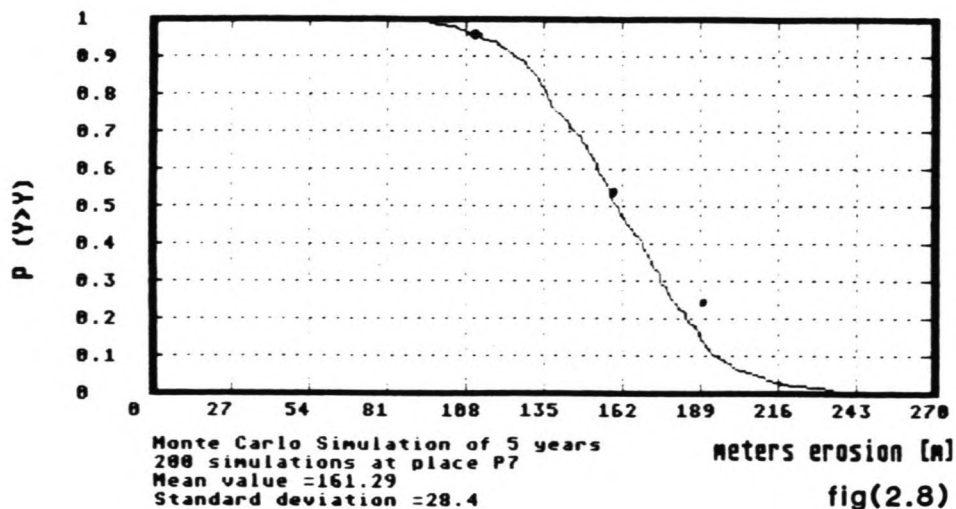
	Test 1	Test 2	Test 3	Test 4	800*	Det.
Gemiddelde waarde [m ³ /j]	31600	27600	25350	28000	28140	0
Standaard Afwijking [m ³ /j]	53175	50700	47200	49400	50165	
Variatie					178%	

In fig.(2.7) wordt de overschrijdingskromme weergegeven voor deze betrouwbaarheidsfunctie. Duidelijk is dat hier geen sprake is van een normale verdeling. 7 van de 10 simulaties trekt géén zand langs het strandhoofd. Als er in een simulatie wel zand langs het strandhoofd trekt, is dat direct meer dan 100.000 [m³/j]. Dit is de reden van de afwijkende overschrijdingskromme in fig.(2.7).



SEKTIE VII: Direct rechts van het laatste strandhoofd

Grootste waarden van kustachteruitgang in de sectie van x = 4250-4350 m worden in de volgende tabel en figuur gepresenteerd:



Maximale erosie x = 4250 - 4350 m						
	Test 1	Test 2	Test 3	Test 4	800*	Det.
Gemiddelde waarde [m]	157.8	155.5	161.3	156.8	157.9	164.5
Standaard Afwijking [m]	27.0	28.0	28.4	29.9	28.3	
Variatie	17%	18%	17.6%	19%	18%	

De spreiding in de resultaten kan iets groter zijn dan in sectie 1 omdat in deze sectie geen invloed aanwezig is van de rivierlozing. Deze lozing zal extreme erosieresultaten tegengaan. De extreme waarden gedurende de hele simulatie blijken niet anders te zijn voor ingesloten stukken kust tussen strandhoofden en de kust achter het laatste strandhoofd.

2.3.3 Nivo-2 Berekening

Doelstelling

Het vaststellen van de bijdrage van elk van de invoervariabelen in de onzekerheid van de kustontwikkelingssimulaties.

Uitgangspunten

- per sectie worden drie nivo-2 berekeningen (verfijnde eerste orde - tweede moment) uitgevoerd met een variërende maximaal toegestane waarde zodanig dat de kans van overschrijden verloopt van ongeveer .9 tot .1;
- algemene uitgangspunten (zie 2.1).

Ter vergelijking zijn tevens Monte-Carlo simulaties uitgevoerd waar steeds 1 van de stochastische uitvoervariabelen een standaard afwijking = 0 heeft. Hiermee kan een redelijke vergelijking worden gemaakt met de berekende bijdragen van de variabelen aan de onzekerheid van de kustpositie, zoals wordt berekend met de nivo-2 berekening.

Resultaten

SEKTIE I: Direkt rechts van de protektie

In de volgende tabel zijn extremen in de kustontwikkeling uitgezet na 200 Monte-Carlo simulaties met steeds één variabele die telkens exakt de gemiddelde waarde aannam (deterministische invoer).

Maximale erosie direkt rechts van protektie

	Deterministisch ingevoerde variabelen					
	Leff	So	Ao	Qs	Zo	Ly
Gemiddelde waarde [m]	110.7	111.3	111.4	110.2	111.9	112.3
Standaard Afwijking [m]	13.9	14.9	12.6	12.9	15.5	17.4
Variatie	12.5%	13.4%	11.3%	11.7%	13.9%	15.5%

Met een nivo-2-berekening zijn percentueel de bijdragen berekend voor elke invoervariabele op de kustontwikkeling. Bovendien is door het variëren van de max. toegestane erosie een controle uitgeoefend op de kans van overschrijden zoals ook berekend is met de nivo-3 methode. Voor sectie I zijn de waarden van de gevarieerde toegestane maximale erosie:

- 90 meter
- 112 meter
- 135 meter

De uitkomsten van deze berekeningen zijn ingetekend in de overschrijdingskromme van fig.(2.4). Voor de verschillende waarden voor de maximale toegestane erosie in de betrouwbaarheidsfunctie worden uiteraard verschillende kansen van overschrijden vastgesteld:

- $P(Y>90) = .87$
- $P(Y>112) = .43$
- $P(Y>135) = .06$

De bijdragen aan de spreiding in de kustontwikkeling voor elke variabele zoals gegeven op II.15 worden weergegeven in de volgende tabel:

SEKTIE I: Direkt rechts van protektie

max. erosie [m]	90	112	135
$P(Y>Y_m)$	.87	.43	.06
Bijdrage			
So	15.8%	16.5%	17.8%
Ao	28.9%	23.5%	18.3%
Zo	- %	1.4%	8.3%
Ly	26.3%	21.2%	16.4%
Leff	- %	- %	- %
Qs	28.9%	37.5%	39.2%

- Het deterministisch invoeren van één van de variabelen beïnvloedt het resultaat op de gemiddelde kustontwikkeling en de spreiding in deze sekte niet in grote mate. Dit is in overeenstemming met de gelijkmatige verdeling van de bijdragen in de spreiding zoals vastgesteld met de nivo-2 berekeningen.
- Deze bijdragen verlopen minder dan 10% voor alle variabelen als gevarieerd wordt met de in de betrouwbaarheidsfunctie max. toegestane waarde.

SEKTIE II: Bij de monding van de rivier

Voor sekte 2 zijn de waarden van de gevarieerde toegestane maximale aanzanding tijdens de nivo-2-berekening:

- 150 meter $P(Y>150) = .5$
- 210 meter $P(Y>210) = .15$

De resultaten zijn ingetekend in de overschrijdingskromme van fig.(2.5). De bijdragen van de verschillende invoervariabelen zijn afgebeeld in de volgende tabel:

SEKTIE II: Bij de monding van de rivier

Max. aanzanding[m]	150	210
$P(Y>Y_m)$	.50	.15
<hr/>		
Bijdragen		
So	6.3%	11.8%
Ao	1.2%	1.7%
Zo	5.0%	10.5%
Ly	- %	- %
Leff	.2%	.1%
Qs	87.3%	75.9%

- Omdat aangroei van het land wordt bekeken exakt op de positie waar de zandlozing uit de rivier plaatsvindt, is de bijdrage van de onzekerheid in de lozing op de onzekerheid in kustontwikkeling voor deze sekte erg groot.
- Hoe kleiner de kans van overschrijden van de betrouwbaarheidsfunctie is, hoe kleiner de bijdrage van de onzekerheid in de rivierlozing is op de landaangroei.

Maximale aanzanding t.p.v. de riviermonding

	Deterministisch ingevoerde variabelen					
	Leff	So	Ao	Qs	Zo	Ly
Gemiddelde waarde [m]	156.5	149.0	155.4	156.3	153.1	144.9
Standaard Afwijking [m]	58.0	55.4	51.6	23.3	55.0	55.0
Variatie	37%	37%	33%	15%	36%	38%

- Zoals ook bleek uit de nivo-2-berekening, neemt de variatie in de kustontwikkeling aanzienlijk af als de rivierlozing deterministisch wordt ingevoerd.
- De grote spreiding in de kustontwikkeling als de rivierlozing wel stochastisch wordt vastgelegd, wordt om dezelfde reden veroorzaakt door de grote spreiding in de verdeling van de rivierlozing zelf.

SEKTIE III t/m V: De groep strandhoofden

Voor sekte III t/m V zijn de waarden van de gevarieerde toegestane maximale erosie tijdens de nivo-2-berekening:

- 12 meter $P(Y>12)$ = .52
- 14.5 meter $P(Y>14.5)$ = .35

De resultaten zijn weer ingetekend in fig.(2.6).

De bijdragen van de verschillende invoervariabelen zijn afgebeeld in de volgende tabel:

Sektie III t/m V: De groep strandhoofden

max. erosie [m]	12	14.5
$P(Y>Y_m)=$	.52	.35
Bijdrage		
So	- %	- %
Ao	.2%	.8%
Zo	- %	- %
Ly	98.5%	98.1%
Leff	1.3%	1.1%
Qs	- %	- %

- De bijdragen in de maximale erosie van de invoervariabelen S_o , Z_o , Q_s zijn 0 in de schaduwzone van het strandhoofd. Op het moment van maximale erosie wordt immers geén zand getransporteerd langs het strandhoofd !
- Om te onderzoeken hoe de bijdragen zijn als de invloed van de l_y -parameter niet wordt meegerekend, is nog een nivo-2 berekening uitgevoerd waarin de l_y -parameter deterministisch is ingevoerd. De kontributie van de variabelen S_o , Q_s , en Z_o bleven 0%, terwijl de bijdrage van de effectieve lengte 85% werd, en de evenwichtshoek 15%.

Maximale erosie bij de groep strandhoofden

	Deterministisch ingevoerde variabelen					
	Leff	S_o	A_o	Q_s	Z_o	L_y
Gemiddelde waarde [m]	15.4	15.3	15.5	15.6	15.4	15.1
Standaard Afwijking [m]	2.6	2.5	2.1	2.5	2.6	1.2
Variatie	17%	16%	14%	16%	17%	8%

SEKTIE VI: Op de kop van het laatste strandhoofd

In deze sectie is in de betrouwbaarheidsfunctie het zandtransport opgenomen langs het strandhoofd op de plaats $x = 4250$ m.

Maximale zandtransport op de kop van het laatste strandhoofd

	Deterministisch ingevoerde variabelen					
	Leff	S_o	A_o	Q_s	Z_o	L_y
Gemiddelde waarde [m^3/j]	32531	29799	36400	29789	16047	36626
Standaard Afwijking [m^3/j]	52561	46435	56069	50710	39108	57963
Variatie	162%	159%	154%	170%	243%	158%

Zoals ook uit fig.(2.7) blijkt is de overschrijdingskromme van het resultaat niet een normale verdeling. Dit wordt veroorzaakt door een diskontinuiteit in de betrouwbaarheidsfunctie voor het zandtransport, zie fig.(2.7).

De hoeveelheid zandtransport schiet bij bepaalde iteratieve toenames van variabele waarden ineens van $0 \text{ m}^3/\text{j}$ naar $\pm 100.000 \text{ m}^3/\text{j}$. Hierdoor is een stapsgewijze iteratie naar het ontwerp punt onmogelijk. Daarom kunnen geen resultaten worden gepresenteerd van de nivo-2-berekening.

SEKTIE VII: Direct rechts van het laatste strandhoofd

Voor sektie VII zijn de waarden van de gevariëerde toegestane maximale erosie tijdens de nivo-2-berekening:

- 110 meter $P(Y>110) = .96$
- 160 meter $P(Y>160) = .53$
- 190 meter $P(Y>190) = .25$

De resultaten zijn weer ingetekend in fig.(2.8).

De bijdragen van de verschillende invoervariabelen zijn afgebeeld in de volgende tabel.

Sektie VII: direkt rechts van het laatste strandhoofd

Max. erosie [m]	110	160	190
$P(y>Y)$	.96	.53	.25
<hr/>			
Bijdrage			
S_0	66.9%	53.4%	43.9%
A_0	.6%	.1%	.3%
Z_0	26.1%	43.2%	53.0%
L_y	6.4%	3.4%	2.7%
L_{eff}	.1%	.0%	.0%
Q_s	- %	- %	- %

- Evenals in sektie I wordt de kustontwikkeling in deze sektie niet zeer sterk beïnvloed door diskontinuiteiten (groins, rivierlozing). Hierdoor is de bijdrage van de spreiding in de invoervariabelen weer verdeeld.

Maximale erosie direkt rechts van het laatste strandhoofd

	Deterministisch ingevoerde variabelen					
	L_{eff}	S_0	A_0	Q_s	Z_0	L_y
Gemiddelde waarde [m]	163.2	162.8	163.1	160.0	161.1	164.0
Standaard afwijking [m]	26.7	22.2	27.6	27.5	23.6	30.7
Variatie	16%	14%	17%	17%	15%	19%

2.4 KONKLUSIES

- De nivo-2 berekeningen zijn voor zandtransport langs strandhoofden niet goed bruikbaar vanwege een diskontinue betrouwbaarheidsfunctie, zie fig.(2.7).
- Als met de nivo-2 berekening tot een antwoord kon worden gekomen, was dit goed vergelijkbaar met de nivo-3 resultaten, zodat kan worden aangenomen dat beide methoden over het algemeen goed bruikbaar zijn voor kustontwikkelingsvraagstukken.
- De spreiding in de kustlijnontwikkeling na 5 jaar wordt niet opgeslingerd door de aangenomen spreiding in de invoervariabelen.
- De verschillen tussen de deterministische berekende waarden en het gemiddelde van 800 simulaties worden veroorzaakt door:
 - . de mate van betrouwbaarheid van 800 Monte-Carlo simulaties;
 - . geen lineaire transformatie van de kansdichtheidsfunctie van de kustontwikkeling.
- Voor een gewenste grote betrouwbaarheid met kleine kansen van overschrijden is erg veel rekentijd noodzakelijk.
- De bijdrage van de spreiding in de invoervariabelen op de kustontwikkeling(transformatie) is erg afhankelijk van de plaats langs de kust. Dicht bij diskontinuiteiten zullen variabelen die rechtstreeks met deze diskontinuiteiten te maken hebben, een grote invloed hebben. Verder van diskontinuiteiten af is de spreiding van het zandtransport en de actieve wig van groter belang.

3 PRAKTISCHE STUDIE LOBITO, ANGOLA

3.1 INLEIDING

Kontraktuele aspecten

In september 1984 is een kontrakt ondertekend tussen plaatselijke autoriteiten in Angola en Volker Stevin Dredging. Het kontrakt bestond uit levering van materieel en technische ondersteuning door Volker Stevin.

De technische ondersteuning hield onder andere in:

- topografische en bathymetrische surveys van de Restinga;
- ontwerp en tekeningen van de kustverdediging.

Het ontwerp en het tekenwerk zijn uitgevoerd door Aveco Infrastructure Consultants bv. Daarbij is gebruik gemaakt van het model COSIM.

Probleembeschrijving

De Restinga van Lobito bestaat uit een landtong met een lengte van ongeveer 5.5 kilometer en een breedte van 150 tot 300 [m.] in zuidwestelijk/noordoostelijke richting.

De landtong is ontstaan in noordoostelijke richting en groeit nog steeds door het kontinu optredende zandtransport, veroorzaakt door schuin inkomende golven, die in de kustzone breken en zand opwoelen. Het zand wordt afgezet ten noordoosten van de Restinga waar de golfenergie is afgenomen door refraktie en diffraktie. In fig(3.1) zijn de contourlijnen weergegeven van de Restinga in de jaren 1891, 1910, 1928, en 1950.

De baai ten oosten van de Restinga wordt beschermd tegen golfaanval en is daardoor zeer geschikt voor maritieme activiteiten. De haven van Lobito is gesitueerd aan de baai en is één van de belangrijkste havens van Angola. Naast deze havenactiviteiten zijn er ook reparatiewerven, olie-overslag en andere activiteiten te vinden in de baai.

Het toegangskanaal tot de baai is nogal nauw en wordt steeds nauwer door de voortdurende groei van de landtong.

Aan de andere kant zijn op sommige plaatsen van de Restinga en ten zuidwesten ervan hele stukken van het strand geërodeerd en zijn zelfs huizen en een stuk weg al weggeslagen.

Om beide problemen op te lossen werden tot in 1987 kustverdedigingswerken uitgevoerd naar het door Aveco gemaakte ontwerp. Voor deze studie is gebruik gemaakt van het ontwerp en de survey gegevens die beschikbaar waren bij Volker Stevin.

Een deterministische simulatie is reeds door AVECO gemaakt en resultaten zijn vergeleken met de werkelijke kustontwikkeling in november 1986. Hieruit blijkt dat COSIM de kustontwikkeling tussen mei 1985 en november 1986 in grote lijnen goed simuleert. Voor een weergave van de werkelijke ligging en simulatieresultaten wordt verwezen naar de bijlagen.

3.2 PROBABILISTISCHE BENADERING

De klimatologische omstandigheden en de nauwkeurigheid waarmee de metingen zijn verricht, rechtvaardigen onzekerheid in de grootten van de invoervariabelen. Het lijkt dan ook voor de hand te liggen om kustontwikkelingssimulaties op lange termijn probabilistisch te benaderen.

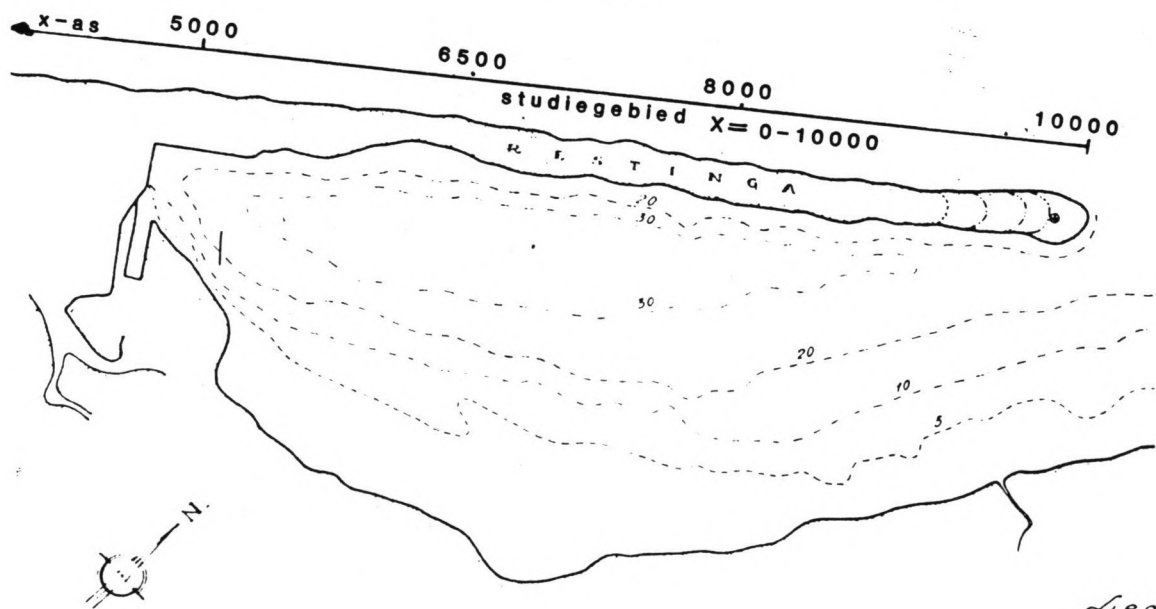
De kustligging zoals vastgesteld met de survey in mei 1985 is gekozen als de beginvoorwaarde voor deze probabilistische studie. Aangezien ook surveymetingen van de kustligging beschikbaar zijn na het tijdstip van het begin van de simulatie ($T=0$), is een studie op de kustontwikkeling van Lobito een zeer geschikte vergelijkingsmogelijkheid voor de probabilistische aanpak van dit soort vraagstukken.

Voor een probabilistische benadering van de kustontwikkeling van Lobito is noodzakelijk:

- stochastische verdelingen van variabelen waarvan de grootte niet met volledige zekerheid kan worden gegeven;
- het opstellen van betrouwbaarheidsfuncties voor verschillende secties langs de kust;
- het aannemen van de mate van korrelatie voor verschillende variabelen langs de kust;
- het aannemen van een korrelatietijd voor verschillende variabelen;
- het vaststellen van eventuele relaties tussen verschillende invoer-variabelen;
- de tijdsduur van de probabilistische simulatie.

CRESCIMENTO DA RESTINGA DO LOBITO

ESCALA 1:30.000



Legenda

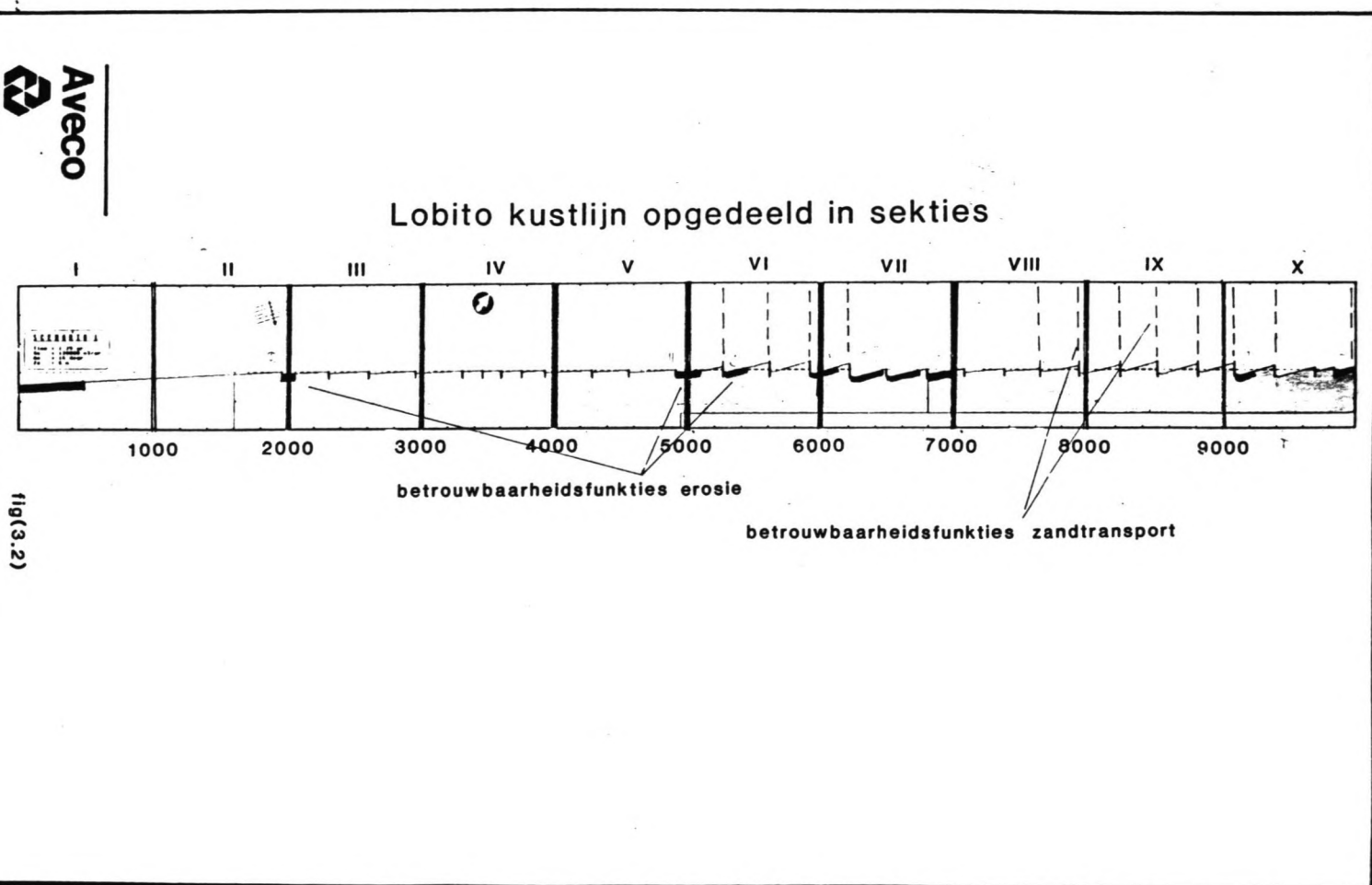
-----	em	1891
-----	"	1910
-----	"	1928
-----	"	1937
-----	"	1950

fig(3.1)

Aan de hand van de hierboven beschreven voorwaarden voor een probabilistische benadering van een kustontwikkelingssimulatie zijn een aantal simulaties uitgevoerd, die hierna afzonderlijk zullen worden beschreven.

Voor alle simulaties zijn dezelfde betrouwbaarheidsfuncties opgesteld. Per simulatie zijn weer een aantal plaatsen langs de kust gekozen waar de betrouwbaarheidsfunctie gedefinieerd is.

Vanzelfsprekend zijn dit voornamelijk de plaatsen waar met probabilistische simulaties interessante uitkomsten zijn te verwachten. Een afbeelding van de plattegrond van het ontwerpgebied met de plaatsen waar een betrouwbaarheidsfunctie is opgesteld is afgebeeld in fig.(3.2).



Voor alle scenario's die zijn verricht zijn twee varianten opgesteld ten aanzien van de betrouwbaarheidsfuncties

$$Z_n = R_n - B_n, \text{ vlg. blz. II.15, t.w.:}$$

- waarin de 'sterkte' R de meest extreme toegestane waarde van de kustontwikkeling is op het einde van de simulatie (Tm);
- waarin de 'sterkte' R de meest extreme toegestane waarde van de kustontwikkeling is gedurende de gehele simulatie (Ext).

Verder is ten aanzien van het model nog gevarieerd op basis van:

- de lengte langs de kust waarover een invoervariabele volledig gekorreleerd wordt aangenomen, scenario I en II;
- de tijdsduur waarover een invoervariabele gekorreleerd wordt aangenomen, in relatie tot de tijdsperiode waarin de waarden zijn gemeten, scenario III.

Deze scenario's zijn in aparte simulaties uitgevoerd.

3.3 VERWERKING VAN DE MEETGEGEVENS

Getracht is voor de volgende variabelen stochastische verdelingen te bepalen:

- S_0 = gemiddeld jaarlijks zandtransport parallel aan een ongestoorde referentiekust;
- Z = actieve wig van het kustprofiel;
- A_e = evenwichtshoek;
- L_{eff} = effectieve lengte van een strandhoofd;
- L_y = de invloed van het ly-effekt achter een strandhoofd voor het zandtransport achter het strandhoofd.

Aangenomen is dat in afwijking van de vorige test elke variabele een lognormale verdeling heeft, zodat negatieve invoervariabele waarden niet voorkomen. De volledige verdeling is vastgelegd met het bepalen van:

- een gemiddelde waarde;
- een standaardafwijking.

Gegevens die bruikbaar zijn voor het bepalen van de waarden van de invoervariabelen zijn afkomstig van:

- A. Twee bathymetry surveys over de gehele kustlengte, gehouden in:
 - mei 1985;
 - november 1986.
- B. Golfgegevens op dieper water gedurende een aantal jaren.

Ad A

De survey-resultaten zijn verwerkt tot de volgende resultaten:

- erosie/aanzanding in meters in tussenliggende periode op 0.00 m boven de gemiddelde zeespiegel;
- erosie/aanzanding in meters in tussenliggende periode op 2.00 m boven de zeespiegel;
- volumeverandering in een doorsnede per m^2 in de tussenliggende periode;
- bovenaanzicht met 2 m dieptelijnen.

De metingen zijn verricht met een tussenliggende afstand van 50 meter, over de gehele kustlengte. Voor het vaststellen van invoerwaarden blijken niet alle doorsnede metingen nuttige informatie te verschaffen. Voor invoervariabelen die bepaald zijn zoals hierboven gesteld, is aangenomen dat de gemiddelde waarde op een klein deel van de kust niet afwijkt van de gemiddelde waarde over de gehele kust.

Voor het bepalen van stochastische spreiding in de waarden van de variabelen in de loop van de tijd, zijn gegevens van de kust uit twee metingen niet erg betrouwbaar voor variabelen die kunnen veranderen op korte termijn. Bij gebrek aan gegevens op lange termijn wordt in scenario I, blz. II.39, toch aangenomen dat stochastische spreiding van de variabelen over de kustlengte op korte termijn van dezelfde orde grootte is als de gezochte stochastische spreiding over de simulatietijd.

Ad B

Het andere deel van de gegevens die beschikbaar zijn voor het vaststellen van stochastische invoerwaarden is afkomstig van golfgegevens (B) voor de kust gedurende een aantal jaren.

Voor een aantal invoervariabelen is het nochtans niet goed mogelijk rechtstreeks uit de meetgegevens een betrouwbare gemiddelde waarde vast te stellen (S_0 , A_0 , L_y , L_{eff}).

Voor deze parameters is tevens gebruik gemaakt van een 'best-fit' methode met het COSIM programma. Er is 'gefit' naar de in november 1986 gemeten waarden van kustontwikkeling op het 0.00 m nivo. Dit 'fitten' is gebeurd met behulp van de kleinste kwadraten methode. Bij deze fit zijn niet in de berekening meegenomen de punten langs de kust waar onder invloed van een "Calema" een strandhoofd in aanbouw voor een groot deel is weggeslagen. Dit heeft namelijk geleid tot grote afwijkingen in de kustontwikkeling.

Tenslotte is voor alle invoervariabelen een omrekening gemaakt van een normale verdeling naar een log-normale verdeling, om te voorkomen dat er negatieve waarden worden getrokken. Dit zou nl. kunnen leiden tot een niet reële combinatie van kustvariabelen.

Bepaling van de actieve wig

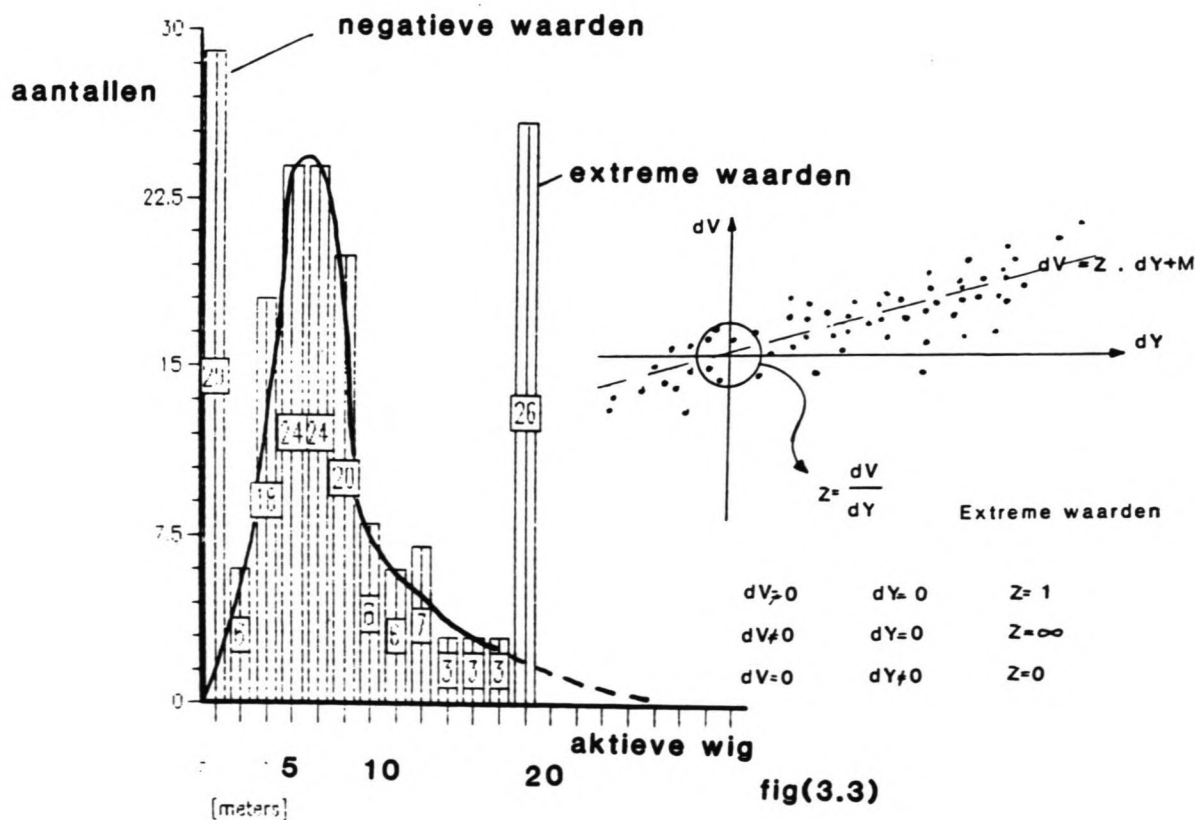
Met de modellering van de actieve wig volgens paragraaf 5.2, deel I, is uit de survey-gegevens een goede stochastische spreiding voor de actieve wig vast te stellen. Beschikbaar zijn 180 doorsnede metingen van de:

- opgetreden erosie/aanzanding op het 0.00 m nivo, dY;
- volumeverandering in m², dV.

Een benadering van de actieve wig is bepaald door middel van het volgende quotiënt:

$$Z = \frac{dVolume}{dY} = \text{actieve wig in een doorsnede} \quad (24)$$

Een verdeling van alle op deze wijze berekende actieve wig-waarden is afgebeeld in fig(3.3).



Bij deze benadering zijn twee criteria opgesteld waarvoor geen relevante waarden van Z kunnen worden bepaald:

1. Voor zeer kleine waarden van dY wordt het quotiënt irrelevant groot.
2. Voor volumevermindering bij aanzanding op 0.00 m nivo in een doorsnede en volumevermeerdering bij erosie wordt de actieve wig negatief.

Van de 180 doorsnedes blijken er op het 0.00 m nivo 28 negatieve waarden van Z op te leveren. Voor de studie waarbij voor de hele kustlijn 1 actieve wig wordt bepaald is na interpretatie van doorsnede profieltekeningen gesteld dat de grootte van de actieve hoogte irrelevant groot is voor waarden groter dan 10 meter. Na het afbakenen van de grenzen om negatieve en irreële grote waarden uit te sluiten, kunnen dan de stochastische variabelen langs de gehele kust statistisch worden berekend :

- gemiddelde waarde = 6.00 meter
- standaard afwijking = 2.6 meter

Bepaling zandtransport

Voor het bepalen van de (stochastische theorieën) waarden van het zandtransport langs een ongestoorde kust parallel aan de referentiekust bestaan verschillende uiteenlopende theorieën (Bijker, CERC).

De klimaatvariabelen kunnen sterk fluktuëren op zowel korte - als langere termijn. Bovendien is het moeilijk te bepalen wat de invloed is van het feit dat in werkelijkheid nooit sprake is van een ongestoorde kust. Om deze redenen is het bepalen van een gemiddeld zandtransport per jaar erg moeilijk en onnauwkeurig. Daarom is voor de vaststelling van het gemiddelde jaarlijkse zandtransport gebruik gemaakt van gegevens over de aanzanding van de Restinga waar door de Angolese autoriteiten in 1937 en 1962 metingen zijn verricht.

De uitkomsten van de metingen uit 1937 en 1962 en de berekende waarden afgeleid uit recente berekeningen leiden tot:

metingen 1937	200.000 [m ³ /jaar]
metingen 1962	60.000 [m ³ /jaar]
CERC berekeningen uit recente golfgegevens	71.000 [m ³ /jaar]
Bijker berekeningen idem	144.000 [m ³ /jaar]
Gemiddeld zandtransport	119.000 [m ³ /jaar]

Standaard afwijking van het zandtransport = 65.000 [m³/jaar]

Aan de hand van deze resultaten is met de 'best fit methode' naar de kustligging in november 1986 een nauwkeuriger gemiddelde waarde bepaald. Deze waarde voor het gemiddelde zandtransport per jaar is:

gemiddeld zandtransport = 110.000 m³/jaar

Bepaling van de evenwichtshoek A_e

De stochastische waarden van de kustoriëntatie t.o.v. de referentiekust waarbij geen transport optreedt kan worden vastgesteld door het meten van de hoek die de kustlijn maakt met een referentielijn, aan de loefzijde van een strandhoofd t.o.v. de referentiekust. Hierbij moet worden opgemerkt dat:

- vaststelling dan geschiedt middels een momentopname. De gemeten hoek kan sterk zijn beïnvloed door de ten tijde van de meting overheersende golfrichting;
- de gemeten hoek alleen de evenwichtshoek is als geen zand langs het strandhoofd wordt getransporteerd.

In de volgende tabel is het aantal gebouwde groins langs de kust van Lobito aangegeven met hun karakteristieken.

Aangenomen is dat T = 0 op 1 september 1985. De referentiekustlijn maakt een hoek van 50 graden met het geografische noorden. De gemeten hoeken van de kustlijn zijn weergegeven op het 0.00 m nivo en op het 2.00 + nivo.

X-koörd. [m]	Gebouwd t.o.v. T=0 [j]	A(0.00) [m]	A(2.00) [°]	Lengte [°]	nr. [-]	aangezand [-]
5263 m	1.16	15		60	18	Nee
5613	.75	20	29	60	17	Ja
5913	.34	>40	>40	60	16	Ja
6488	1.48	in aanbouw				
6788	1.64	in aanbouw				
7063	1.8	in aanbouw				
7638	1.24	23	13	60	10	Nee
7938	1.08	4	20	60	9	Nee
8238	1.01	Calema		60	8	niet betrouwbaar
8513	.62	Calema		60	7	niet betrouwbaar
8813	.51	24	24	60	6	Nee
9088	.25	31	15.5	60	5	Nee
9365	.15	20	20	30	4	Ja

Tabel 3.1

Zoals blijkt uit het overzicht voldoen er vijf plaatsen langs de kust waar de kustlijn niet tot aan de kop van het strandhoofd is aangezand:

X-koord.	bouwj.	A(0.00)	Lengte	nr.	aangezand	
5263	m	1.16	15	60	18	Nee
7638		1.24	23	60	10	Nee
7938		1.08	4	60	9	Nee
8813		.51	24	60	6	Nee
9088		.25	31	60	5	Nee

Tabel 3.2

Er is aangenomen dat strandhoofd nr. 5/6 en 9/10 waarden voor de evenwichtshoek geven die gekorreleerd zijn. Daarom is de volgende theorie toegepast voor het bepalen van het gemiddelde:

De gemiddelde waarde van strandhoofd 18: $\mu(A_o) = 15$ [graden]
 De gemiddelde waarde van strandhoofd 5 & 6: $\mu(A_o) = 27.5$ [graden]
 De gemiddelde waarde van strandhoofd 9 & 10: $\mu(A_o) = 13.5$ [graden]

De gemiddelde waarde voor de kust is bepaald uit deze drie gemiddelden: $\mu(A_e) = 18.7$ [graden]

De standaard afwijking van de waarden van dit kustgemiddelde:
 $\sigma = 6.3$ [graden].

Naast het bepalen van A_e tegen een strandhoofd kan met de golfgegevens op diep water ook een gemiddelde en standaardafwijking voor A_e worden bepaald, onder aanname dat de hoek van golfval op een bepaalde diepte in het profiel gelijk is aan de evenwichtshoek in het model.

Van deze golfgegevens is voor de meest voorkomende richtingen en golfhoogten m.b.v. refraktieberekening de volgende tabel samengesteld:

Ho [m]	Ao [x]	T [s]	A _G [x]	A _{br} [x]	h _{br} [m]	%
.3	68	4	59.1	11.9	.2	17
.5	68	5	49.0	12.5	.35	58
.75	68	7	36.4	13.5	.8	12
.5	45	6	31.3	12.0	.7	7
		rest				7

Tabel 3.3

waarin:

- Ho = golfhoogte op diep water
- Ao = golfhoek op diep water
- T = golfperiode
- A₆ = golfhoek op diepte van 6 meter
- A_{br} = golfhoek in brekerzone
- h_{br} = brekerdiepte
- % = percentage van voorkomen in de tijd.

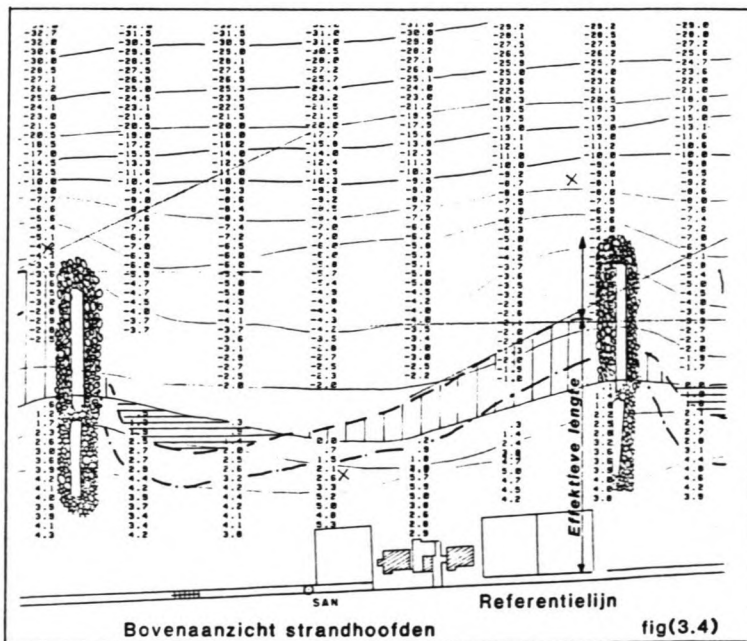
Uit deze gegevens zijn gewogen gemiddelde waarden berekend voor:

- A₆ = 47.9 [graden]
- A_{br} = 12.5 [graden]

De uit de gegevens bepaalde gemiddelde waarde voor A_e blijkt in simulaties slecht te voldoen. De gesimuleerde kustlijnpositie komt overeen met de werkelijk gemeten kustlijnpositie. Met behulp van 'fitten' naar de kustligging van november 1986 is een gemiddelde waarde bepaald van 14 graden.

Bepaling Effectieve lengte van het strandhoofd

De waarden van effectieve lengten kunnen worden vastgesteld uit de bovenaanzichten met 2 meter dieptelijnen. Deze rechtstreekse bepaling van de effectieve lengte van strandhoofden is gerechtvaardigd als zand langs het strandhoofd trekt. De situatie aan de loefzijde van een strandhoofd wordt weergegeven in fig(3.4).



Leff = Lgr ontw. - Lkop

Uitgangspunten

- Lkop is gemiddeld gelijk voor alle lengten van strandhoofden, vanwege het aangenomen gelijke talud langs de gehele kustlijn, zie hiervoor ook paragraaf 5.4.1, deel I;
- Ontwerplengte van de strandhoofden zijn ingevoerd als Lgr.
- Spreiding in de bouw is verwaarloosd.

Drie strandhoofden langs de gehele kust voldoen aan de voorwaarden en uitgangspunten:

x	nr.	Lgr	Lkop	Leff
5613	17	60	14	46
5913	16	60	18	42
8513	4	60	8	52

Tabel 3.4

Op dezelfde wijze als voor de hoek A_e is gebeurd, kunnen voor de Lkop stochastische waarden worden bepaald:

- De gemiddelde waarde voor strandhoofd 16 & 17: $\mu = 16$ [m]
- De gemiddelde waarde voor strandhoofd 4 : $\mu = 8$ [m]

De gemiddelde waarde voor de kust is bepaald uit deze twee gemiddelden: $\mu = 12$ [m]

De standaard afwijking van de waarden van dit kustgemiddelde is:

$$\sigma = 5.6 \text{ [m].}$$

Met de volgende berekening kan ook tot een waarde voor L_{kop} worden gekomen:

$$L_{kop} = \frac{h_{kop}}{m} \quad (32)$$

Waarin:

$$\begin{aligned} h_{kop} \text{ diepte} &= 1 \text{ [m]} \\ m \text{ helling profiel} &= 1:12 \\ \text{gemiddeld } L_{kop} &= 12 \text{ [m]} \end{aligned}$$

3.4 SIMULATIES

3.4.1 Scenario 1

Doelstelling

Het vergelijken van probabilistische kustontwikkelingssimulatie met gemeenten waarden van kustontwikkeling in Lobito, Angola.

Uitgangspunten

Voor de eerste Lobito simulatie zijn de volgende uitgangspunten gekozen:

- de volgende invoervariabelen worden stochastisch ingevoerd:
 1. zandtransport S
 2. actieve wig Z
 3. evenwichtshoek A_e
 4. variabele L_y
 5. effectieve lengte van de strandhoofden L_{eff} ;
- de simulatie wordt uitgevoerd door middel van een Monte-Carlo simulatie;
- voor de extreme waarden van kustontwikkeling zijn extremen bepaald na 1.25 jaar;
- de tijdsduur van de simulatie is 1.25 jaar, namelijk van september 1985 t/m november 1986;
- de hierboven genoemde invoervariabelen zijn volledig onafhankelijk van elkaar aangenomen. Dat wil zeggen dat is aangenomen dat de waarden van invoervariabelen buiten het model niet worden beïnvloed door de waarden van andere invoervariabelen;
- de hierboven genoemde invoervariabelen zijn volledig gekorreleerd over de gehele kustlengte. Dat wil zeggen dat waarden van een variabele gelden langs de gehele kust;
- de hierboven genoemde variabelen hebben waarden bepaald voor lange termijn ontwikkeling. Dat wil zeggen getrokken waarden voor een variabele zijn konstant tijdens één hele simulatie.

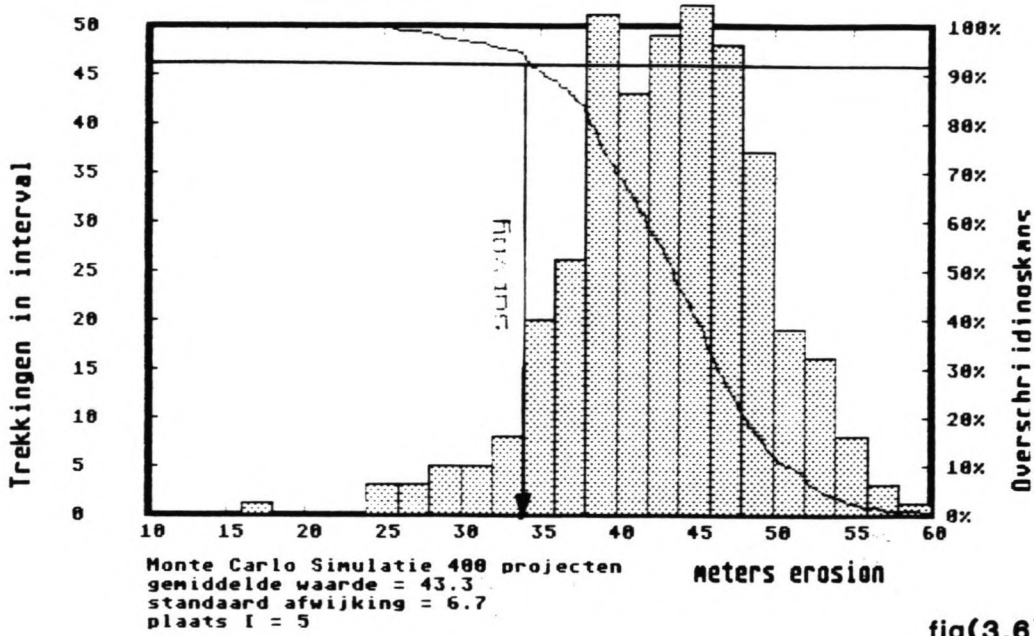
De ingevoerde waarden van de variabelen voor scenario 1 zijn weergegeven in tabel(3.5)

Param.		Gemiddeld	Stand. Afw.	Variatie
A	[graden]	14	6.3	45%
So	[m ³ /j]	110000	65000	59%
Z	[m]	6.01	2.5	42%
L _y	[-]	1.8	1	55%
L _{Kop}	[m]	12	5.6	47%

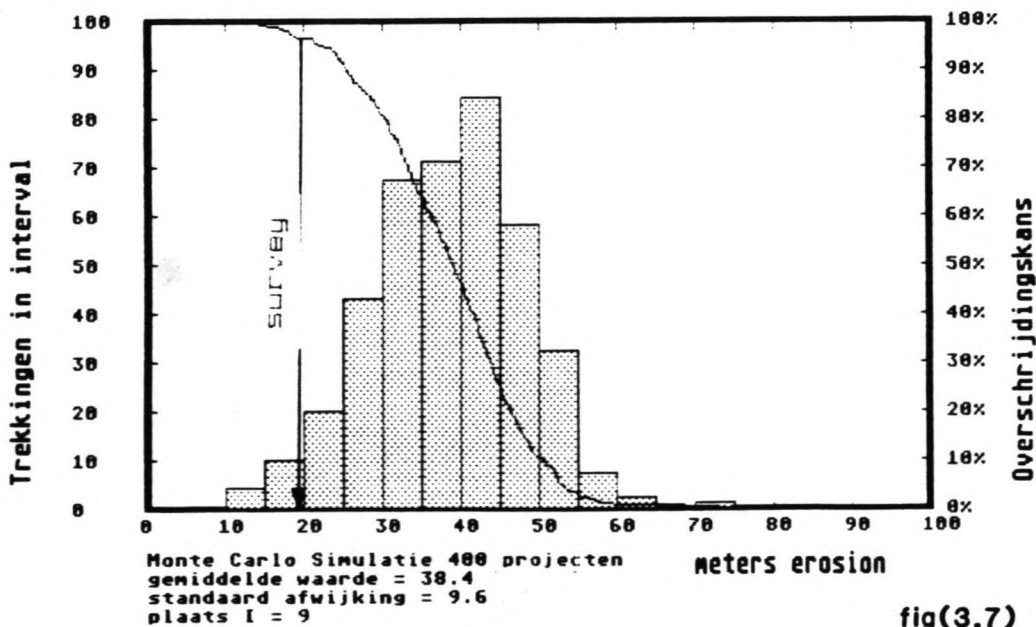
Tabel 3.5

Resultaten

De verdelingen van de kustligging op de verschillende gesimuleerde plaatsen omsluiten de werkelijke kustligging na 1.25 jaar, zoals blijkt uit de volgende figuren, kansoverschrijdingskrommen van de kustlijnpositie op de plaatsen met x-koordinaat 6200-6400 resp. 9100-9200 [m].



fig(3.6)



fig(3.7)

Beperkingen

- Invoervariabelen zijn niet volledig onafhankelijk van elkaar. Zoals ook blijkt uit de theoretische beschrijving van de variabelen is b.v. het zandtransport langs een ongestoorde referentiekust afhankelijk van:
 - . golfhoogte
 - . hoek van golfinval.

De golfhoogte bijvoorbeeld wordt niet als aparte variabele ingevoerd in het model. Toch zal de hoogte van de inkomende golven van invloed zijn op de in te voeren hoeveelheid zandtransport S_0 . En tevens lijkt aannemelijk dat de actieve wig wordt beïnvloed door de hoogte van de inkomende golven. Met relaties als hierboven beschreven dient het model te worden uitgebreid, opdat invoervariabelen onderling onafhankelijk zijn.

De hoek van golfinval is een variabele die onafhankelijk wordt ingevoerd. De grootte van het zandtransport eveneens. De afhankelijkheid van de grootte van het zandtransport met de hoek van golfinval is tot nog toe niet in het model verwerkt.

- Uit de studie naar de actieve wig uit de surveys blijkt dat de korrelatielengte van deze variabele niet de gehele kustlengte omvat. Het vermoeden bestaat dat deze aanname voor meerdere variabelen een bijstelling verdient.

3.4.2 Scenario 2

Doelstelling

Het simuleren van probabilistische kustontwikkeling met extra aandacht voor de korrelatielengte van variabelen langs de kust en de relatie tussen invoervariabelen buiten het model.

Uitgangspunten

Uitgangspunten voor deze simulatie zijn:

- de volgende invoervariabelen worden stochastisch ingevoerd:
 1. zandtransport S
 2. actieve wig Z
 3. evenwichtshoek A_e
 4. variabele L_y
 5. effectieve lengte van strandhoofden L_{eff} ;

- de simulatie wordt uitgevoerd door middel van een Monte-Carlo simulatie;
- voor de extreme waarden van kustontwikkeling zijn waarden bepaald na 1.25 jaar;
- de tijdsduur van de simulatie is 1.25 jaar, namelijk van september 1985 t/m november 1986;
- de korrelatie van variabele waarden in de simulatietijd wordt volledig aangenomen;
- Voor alle stochastisch ingevoerde variabelen wordt vastgesteld hoe groot de korrelatiecoëfficiënt is als functie van de afstand langs de kust.

Model

Voor elke stochastisch in te voeren variabele is een afstand vastgesteld waarover volledige korrelatie wordt aangenomen. Zo is de kust per variabele in 11 sekties van 1000 m verdeeld. Per sektie wordt een onafhankelijke trekking voor de bewuste variabele uitgevoerd. De totale bestudeerde kustlengte is nog steeds 11000 m

Parameter	Korrelatielengte [m]
So	11000
A _e	1000
Z	1000
Leff	elk strandhoofd
ly	1000

Tabel 3.6

Invoervariabelen

Voor deze simulatie zijn aldus per variabele noodzakelijk:

- een gemiddelde waarde voor de lengte waarover elke variabele gekorreleerd is op lange termijn;
- een standaardafwijking voor de lengte waarover elke variabele gekorreleerd is op lange termijn.

Param.		Gemiddeld	Stand.Afw.	Variatie	Korr. lengte
A	[graden]	14	6.3	45%	1000
So	[m ³ /j]	110.000	65.000	59%	11000
Z	[m]	6.01	2.5	42%	1000
Ly	[-]	1.8	1	55%	1000
Lkop	[m]	12	5.6	47%	elke strandh.

Tabel 3.7

Resultaten

Na het trekken van waarden voor de invoervariabelen wordt voor elke kustlijnberekening de tijdstap dt bepaald. De courant-eis voor stabiliteit ligt ten grondslag aan de volgende formule voor het vaststellen van dt:

$$Dt = \frac{.95 \quad Dx^2}{2 \cdot Dmax} \quad (33)$$

Waarin:

$$Dmax = \frac{So}{A_e \quad Z} \quad (34)$$

- So = zandtransport
- A_e = evenwichtshoek
- Z = actieve wig

Omdat de gehele berekening stabiel dient te verlopen, is de kleinst berekende tijdstap maatgevend voor één iteratie. Het trekken van invoerwaarden per sectie levert per iteratie 10 trekkingen op van elke variabele. De combinatie van getrokken invoervariabelen levert mede door groot aangenomen spreidingen waarden op voor dt die erg klein zijn. Daarmee wordt de totale simulatietijd onverantwoord lang. Een totale simulatie van 400 iteraties zou ongeveer 1 jaar kunnen duren! Scenario II leverde dus geen bruikbare resultaten.

Het trekken van nieuwe onafhankelijke waarden voor invoervariabelen per deel van de kustlijn kan dus alleen zinvol worden uitgevoerd met spreidingen die aanzienlijk minder groot zijn dan die gebruikt zijn in deze simulatie.

3.4.3 Scenario 3

Inleiding

Het proces van kustontwikkeling kan in de dimensie tijd globaal ingedeeld worden in drie categorieën:

1. zeer korte termijn (storm)
2. korte termijn (seizoen)
3. lange termijn (jaren).

In de studie van Lobito worden veel gegevens gebruikt die in een klein tijdsinterval zijn gemeten. Uitgangspunt van deze studie is kustontwikkeling op lange termijn. Tot nu toe is aangenomen dat de spreiding van een variabele op korte termijn gelijk is aan de spreiding op lange termijn. Maar als de korrelatietijd van een variabele veel korter is dan de simulatietijd zal de spreiding van een gemiddelde op lange termijn afnemen, n.l. met $1/\sqrt{n}$ waarin "n" het aantal tijdsintervallen is waarin onafhankelijke waarden zouden kunnen worden getrokken per simulatie. Afhankelijk van de grootte van de korrelatietijd, de simulatietijd en het interval waarin het gemiddelde is gemeten zal de spreiding voor een variabele gekorrigeerd worden.

Zo kan voor elke variabele een korrelatietijd worden aangenomen en de faktor n als volgt worden berekend:

$$n = \frac{T_m}{C_T} \tag{35}$$

- n = aantal onafhankelijke trekkingen
- C_T = korrelatietijd [weken]
- T_m = simulatietijd [weken]

mits het metingsinterval waarover de verdeling is samengesteld kleiner is dan C_T .

Variabele	Korrelatietijd	Metingsinterval	Sim.tijd	n
S_0	week	jaren	1.25jaar	1
A_e	week	dag	1.25	65
Z_0	week	dag	1.25	65
L_{eff}	week	dag	1.25	65
L_y	week	dag	1.25	65

Tabel 3.8

Doelstelling

Probabilistische simulatie met extra aandacht voor de korrelatietijd van variabelen.

Uitgangspunten

Uitgangspunten voor deze simulatie zijn:

- onderzoek is gericht op de kustontwikkeling op lange termijn (> 1 jaar);
- seizoenskorrelatietijden worden verwaarloosd. Voor alle parameters wordt de spreiding aangepast voor korrelatietijd en simulatietijd. Zo kan per simulatie één keer een variabelewaarde voor de totale kustlijn getrokken worden;
- parameterwaarden worden getrokken voor de gehele kustlijn. Alle variabelen worden aangenomen volledig gekorreleerd te zijn langs de kustlijn;
- Voor de extreme waarden van kustontwikkeling zijn waarden bepaald na 1.25 jaar.

Invoervariabelen

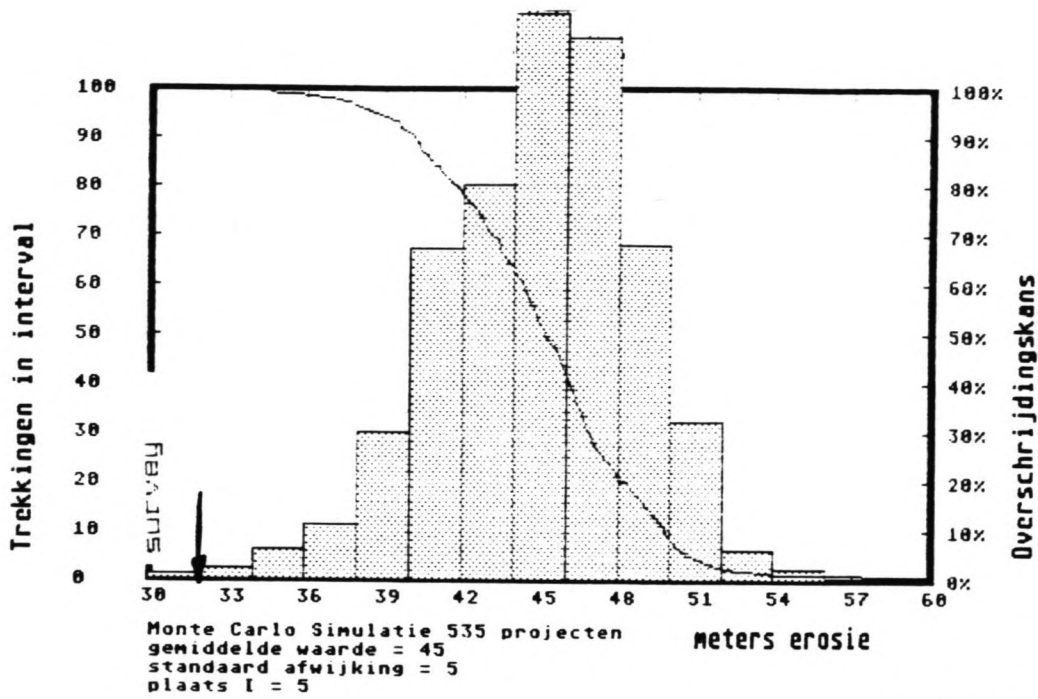
Uit het opgestelde model om tot invoergegevens te komen zijn de volgende waarden tot stand gekomen:

PARAMETER	μ	σ_{oud}	σ_{nieuw}	V_{nieuw}
A [graden]	14	6.3	1.1	8%
S_0 [m ³ /j]	110000	65000	65000	59%
Z [m]	6.0	2.5	.31	5%
L_y [-]	1.8	1.0	1	55%
Lkop [m]	12	5.6	.7	47%

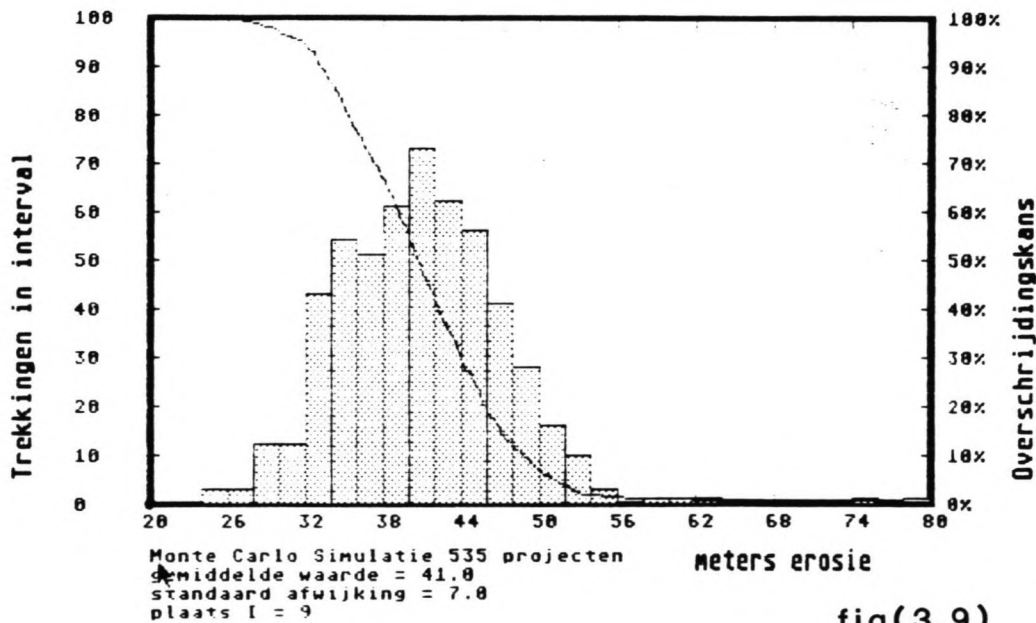
Tabel 3.9

Resultaten

Uit de resultaten van deze simulaties blijkt dat de aangenomen stochastische verdeling van de invoervariabelen onjuist is, zodat de spreiding in de gesimuleerde kustontwikkeling de werkelijke kustontwikkeling na 1.25 jaar niet dekt, zie fig(3.8) en fig(3.9).



fig(3.8)



fig(3.9)

Met de nieuwe spreiding van tabel 3.9 is nogmaals de invloed van de korrelatielengte vergeleken (volgens scenario II) door invoerwaarden per sectie te trekken. Deze extra variatie blijkt nauwelijks invloed te hebben op de grootte van de spreiding. De werkelijke kustligging na 1.25 jaar blijft buiten de stochastische band vallen van de gesimuleerde kustlijnpositie, zie ook fig.(3.8) en (3.9).

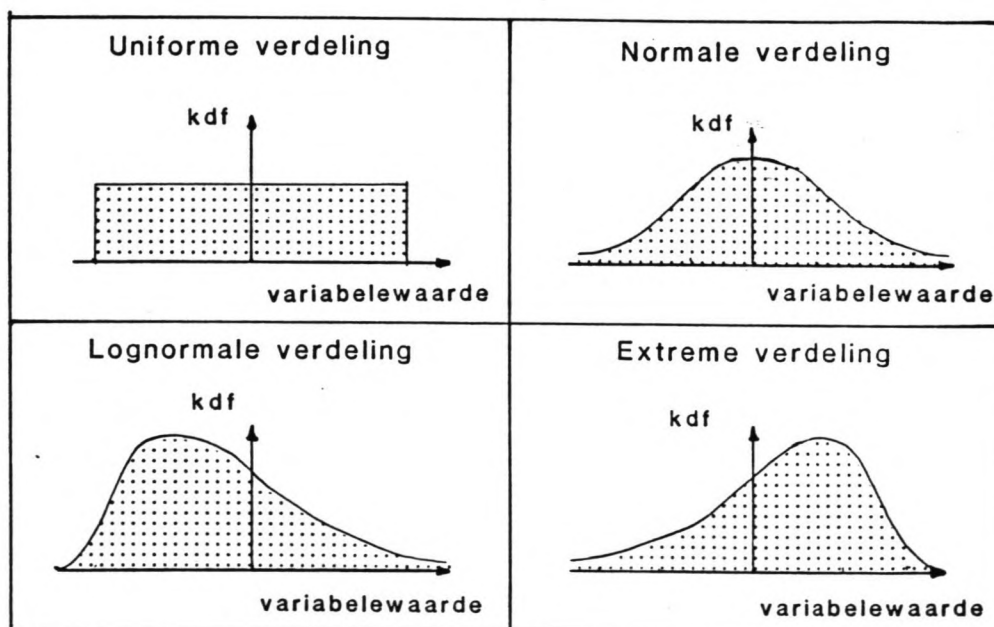
3.5 ALGEMENE RESULTATEN

In de vorige paragrafen is aandacht besteed aan de invloed van de spreidingsgrootte in de kustontwikkeling veroorzaakt door de spreidingsgrootte in de invoervariabelen. In alle simulaties tot nu toe blijkt de vorm van de verdeling van de kustlijnpositie in één sectie grofweg steeds dezelfde vorm aan te nemen. Verschillen in vorm zijn wel duidelijk aanwezig in de verschillende secties.

Er zijn globaal vier soorten verdelingen terug te vinden voor de verschillende betrouwbaarheidsfuncties in kustontwikkeling:

1. Lognormaal.
2. Uniform.
3. Extreem.
4. Normaal.

Afbeeldingen van deze verdelingen zijn te vinden in fig. 3.10a.

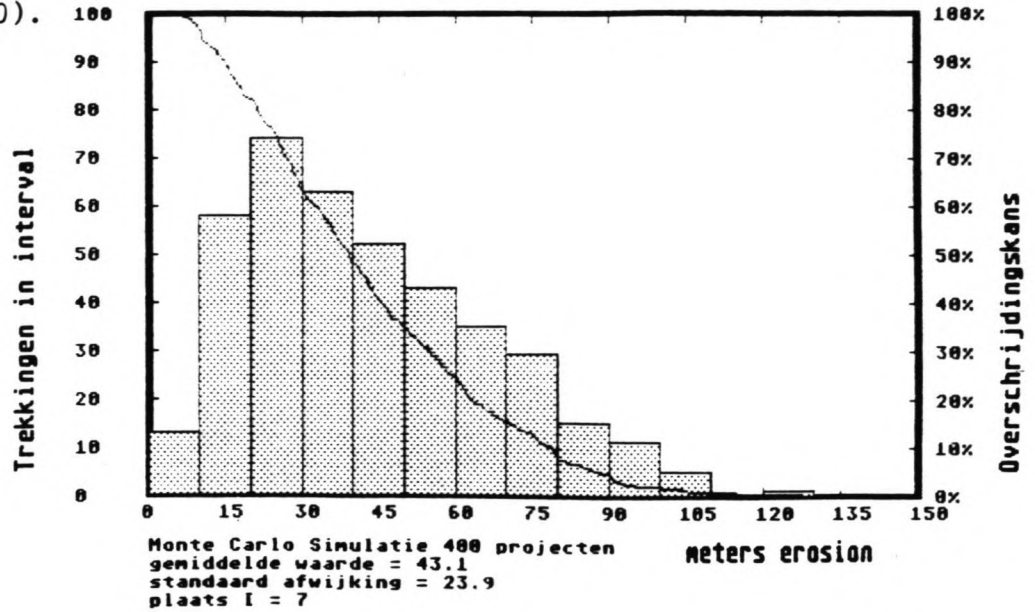


fig(3.10a)

Aangezien deze vormen onafhankelijk optreden van de grootte van de spreidingen in de invoervariabelen is gezocht naar een oorzaak voor deze verschillen in het proces van de kustontwikkeling. Alle betrouwbaarheidsfuncties voor kustontwikkeling langs de kust zijn zo mogelijk ingedeeld bij één van de vier verdelingen en worden hierna besproken.

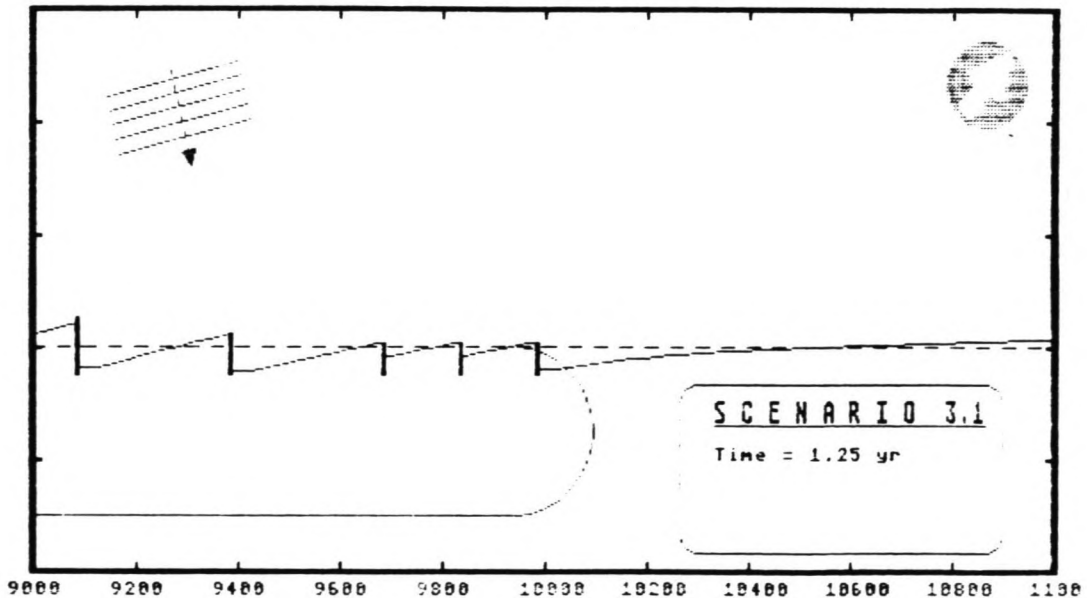
Lognormaal

Het meest duidelijke voorbeeld van een lognormale verdeling is te vinden aan het einde van de Restinga, vanaf $x = 9975$, weergegeven in fig(3.10).



fig(3.10)

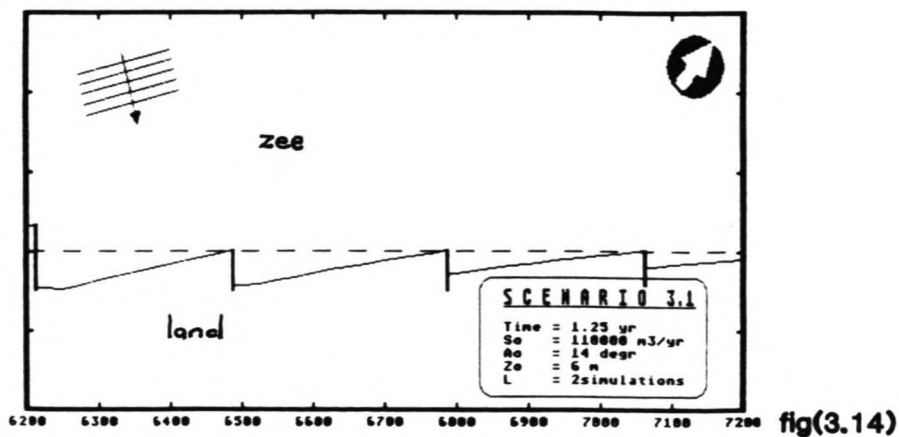
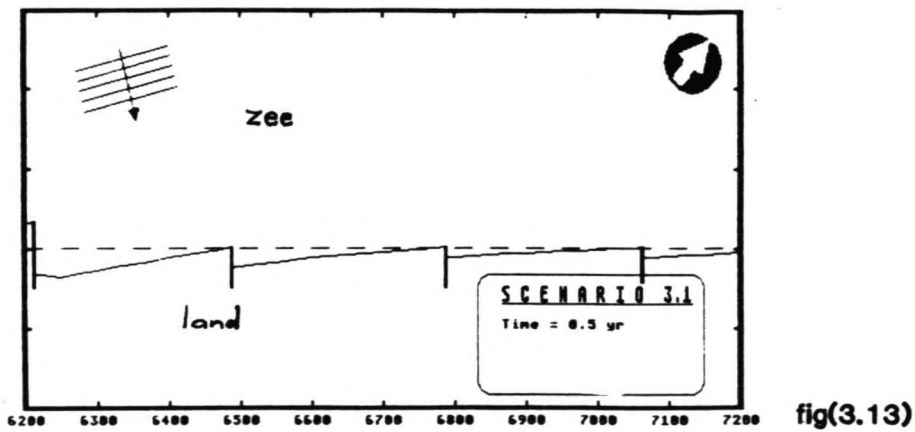
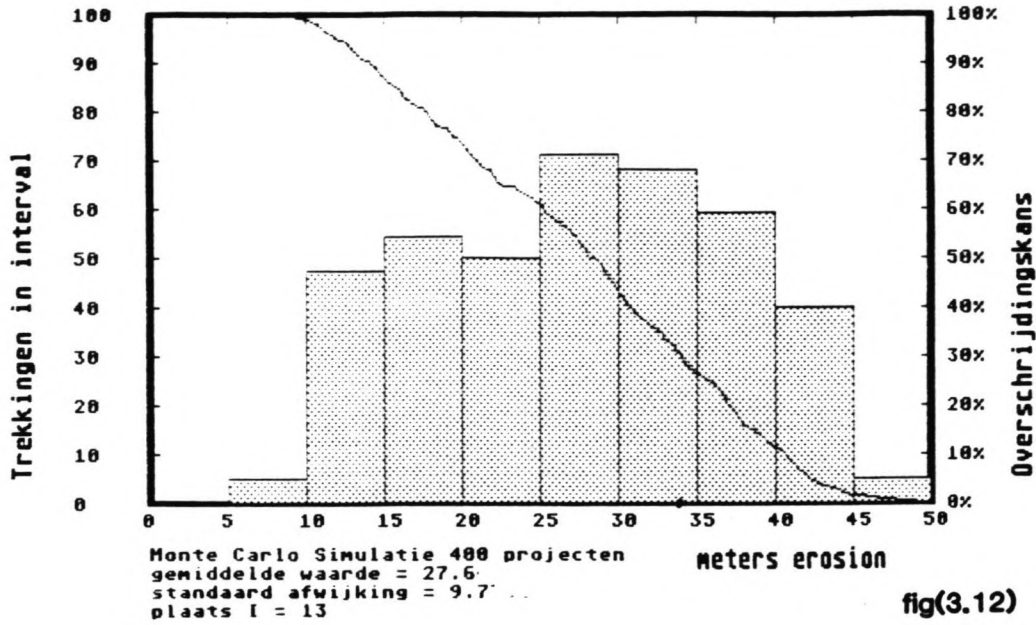
De gesimuleerde kustontwikkeling op deze plaats kan niet worden vergeleken met de werkelijke kustligging. In werkelijkheid ligt op deze plaats de landtong. Met het één-lijn model is hier aangenomen dat de kustlijn doorloopt. In theoretische zin geven de simulatieresultaten een kustlijn weer die over grote afstand geen diskontinuiteiten treft. Beide lijnen zijn weergegeven in fig(3.11). De berekening bevindt zich in een overheersend aantal simulaties in het proces van erosie achter een strandhoofd. Er is nog geen evenwichtskust ontstaan. De simulaties met extreme invoerwaarden worden dus ook niet geremd door de omgeving.



fig(3.11)

Uniform

De enige plaats waar ongeveer een uniforme verdeling voor elk scenario terug komt is op $x = 6775 - 7050$, zie fig(3.12)



Zoals ook te zien is in de figuren (3.13) en (3.14) zijn eigenschappen van dit stuk kust voor gemiddelde invoerwaarden:

- de kustlijn is nog sterk gebogen op $T = 1.25$ jaar;
- de kustlijn wordt ingesloten door twee strandhoofden op $T = 1.25$ jaar, die slechts 250 meter uit elkaar liggen;
- Op $T = 1.25$ jaar loopt zand langs beide strandhoofden die de sectie insluiten.

Hieruit kan gekonkludeerd worden dat :

- er nog geen evenwicht is bereikt;
- er weinig ruimte aanwezig is voor grote extreem-verschillen door de diskontinuiteiten. De extreme waarden worden door de diskontinuiteiten in het berekeningsmodel geblokkeerd.

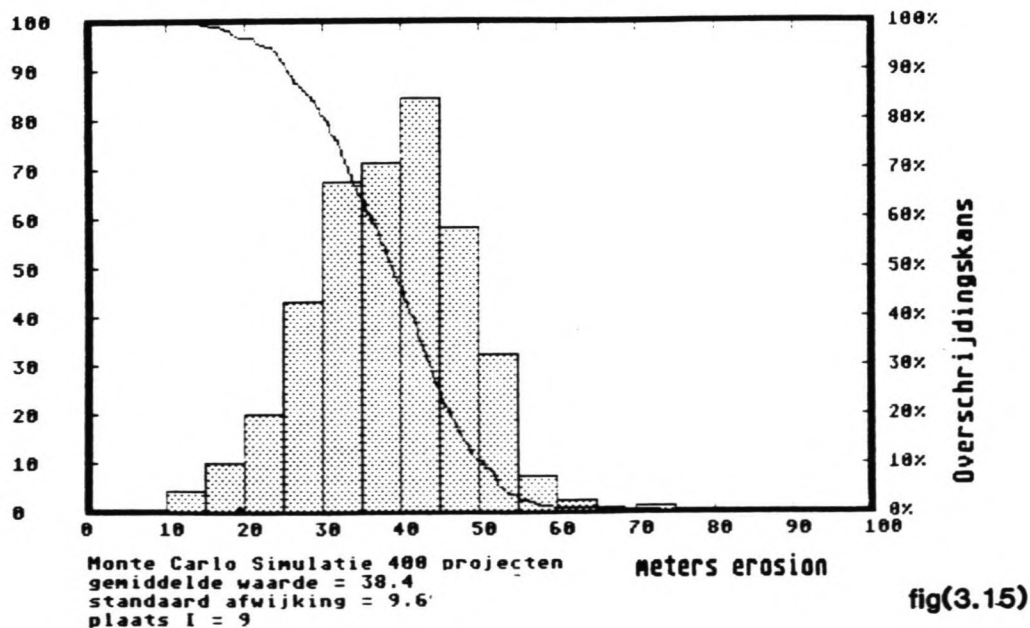
Normale verdeling

Goede voorbeelden van een normale verdeling worden gevonden tussen:

- x = 5900 - 6050 m
- x = 6200 - 6475 m
- x = 9100 - 9250 m

Fig(3.15) geeft een beeld van zo'n normale verdeling.

Voor de figuren die de ontwikkeling weergeven in de tijd wordt hiervoor verwezen naar de figuren (3.13) en (3.14).



Opvallend is voor x tussen 6200 [m] - 64745 [m] de rechte kustlijn tot vlak achter het strandhoofd, waar een duidelijke "Sylvester-licging" zich heeft ingesteld.

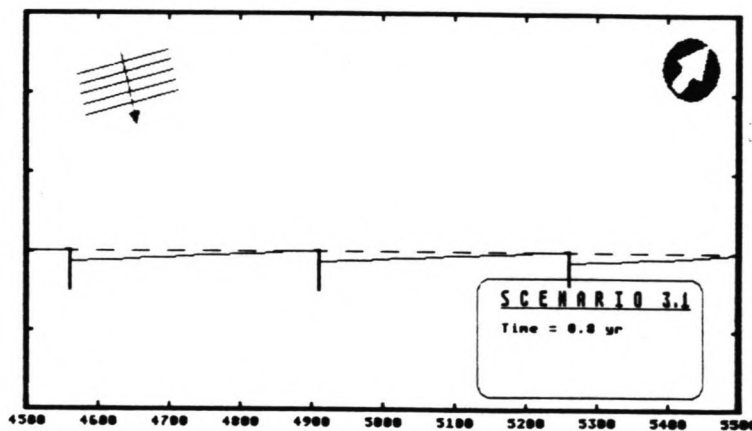
Gekonkludeerd kan worden dat de kustlijn in evenwicht is tussen twee strandhoofden. Dit evenwicht is bereikt ver voor het bereiken van $T = 1.25$ jaar. Dus met trekking van extreme invoerwaarden zal hoogstwaarschijnlijk ook een evenwicht worden bereikt.

Extreme verdeling

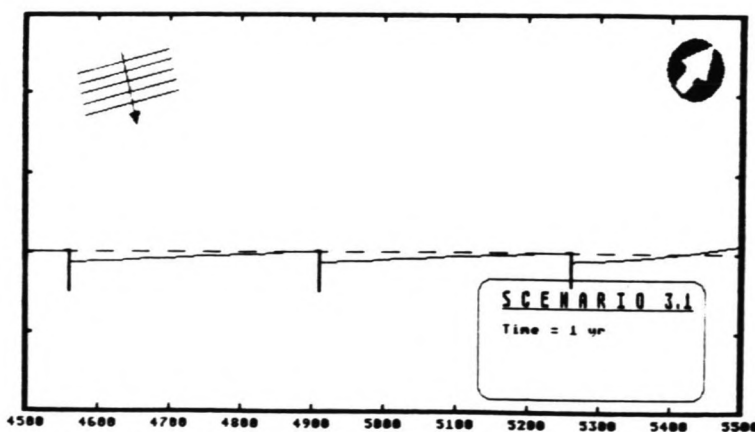
Twee goede voorbeelden van extreme verdelingen zijn de kustontwikkelingen op:

- $x = 4900 - 5100$
- $x = 6500 - 6700$

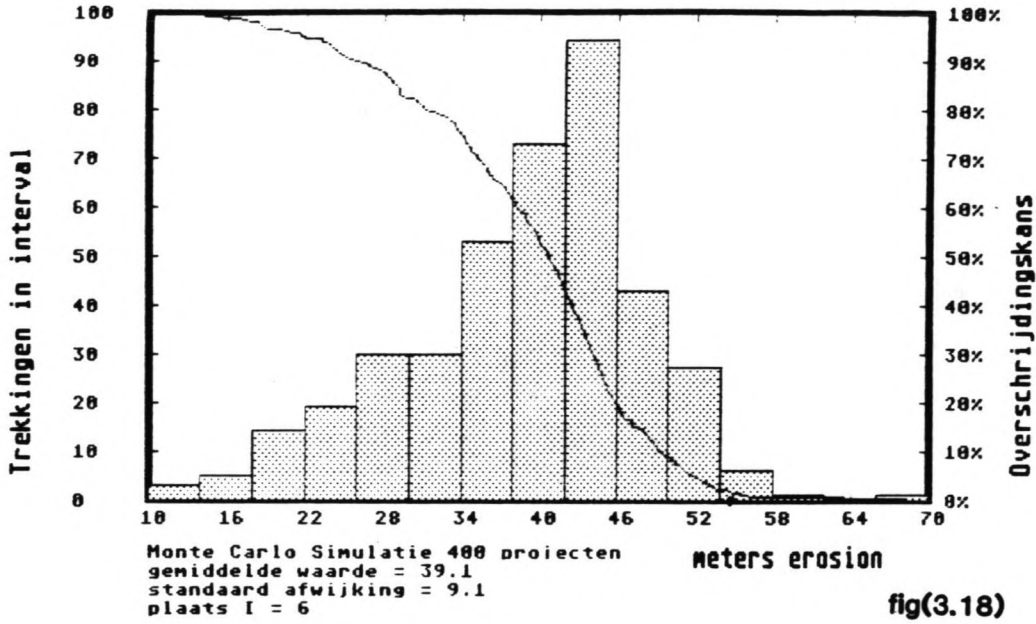
Voor de gemiddelde kustligging van de laatste sectie wordt verwezen naar de figuren (3.13) en (3.14). Hieronder is weergegeven hoe de kustlijn zich gemiddeld ontwikkelt tussen $x = 4900$ en $x = 5100$.



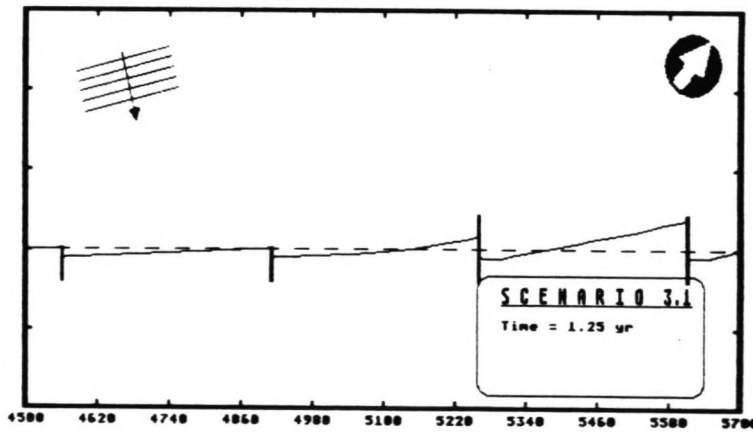
fig(3.16)



fig(3.17)



Er is bij deze stukken kust duidelijk nog geen sprake van een evenwichtsligging. Er zou kunnen worden gekonkludeerd dat een evenwicht, of een overheersend proces is verstoord door het bouwen van het strandhoofd (x = 5235 m) op T = 1.16, te kort voor het tijdstip van meten, T= 1.25 jaar. De kustontwikkeling zoekt nog naar een volgend overheersend proces.



fig(3.19)

3.6 KONKLUSIES

Zoals ook bleek in hoofdstuk 2 wordt de spreiding voor de kustlijnpositie bij transformatie van de verdelingen van invoervariabelen enigszins gedempt, als de kustlijn nadert tot een evenwichtssituatie. De variatie voor de kustontwikkeling is over het algemeen een fractie kleiner dan de variatie in de ingevoerde kustvariabelen (zie tabel 3.10).

PARAMETER	μ	σ	V
A [degr]	14	6.3- 1.1	45%- 8%
So [m ³ /j]	110000	65000	59%
Z [m]	6.0	2.5- .31	42%- 5%
Ly [-]	2.0	.75	55%
Lkop [m]	12	5.6- .7	46%- 6%
Ygem(I)			30%- 18%

Tabel 3.10

De vorm van de verdelingsfunctie van de kustontwikkeling is niet voor elke plaats langs de kust dezelfde. Er is dus geen eenvoudige transformatiefunctie op te stellen voor kustlijnverdelingen voor iedere plaats langs de kust. De vorm lijkt erg afhankelijk van de fase waarin de kustontwikkeling zich op het moment van toetsen bevindt.

Hierin kunnen een aantal fasen worden onderscheiden:

1. Een evenwichtsfase
2. Een erosiefase
3. Een aanzandingsfase.

De verdelingen voor het zandtransport volgen globaal die van de invoerwaarde So. De grote invloed van deze invoervariabele resulteert in een hoge variatiecoëfficiënt voor zandtransporten. De vorm van de verdeling wijkt alleen af van de vorm van de invoervariabele So als er sprake is van een betrouwbaarheidsfunctie ter hoogte van een strandhoofd.

In de opgezette theorie voor de standaardafwijking, welke bepaald is met aandacht voor de tijd waarover variabelen zijn gekorreleerd, zit een manko. Dit kan een aantal oorzaken hebben:

1. De korrelatietijd van variabelen is groter dan de aangenomen week.

2. Het bemonsteringsinterval waarover gemeten is, moet toch groter worden aangenomen, zodat de aangenomen verdeling geldt voor langere termijn.

Gezien de noodzakelijke simulatietijd en de uiteindelijke resultaten is de Monte-Carlo-simulatie geschikt voor het bepalen van stochastische onzekerheid in kustlijnsimulaties met COSIM als:

- de variabelen onderling volledig ongekorreleerd, en elk afzonderlijk volledig gekorreleerd langs de kust worden aangenomen;
- aangenomen wordt dat gemeten waarden voor spreiding in variabelen gekorreleerd zijn voor langere termijn.

4. DELPHI INTERVIEW

Het Delphi interview is afgenomen aan ongeveer twintig deskundigen op het kustwaterbouwkundige vakgebied. Hen is gevraagd een standaard afwijking te geven voor variabele waarden waarvan de gemiddelde waarde gegeven was.

Om een onderscheid in omstandigheden te kunnen maken is de volgende verdeling aangebracht:

- wisselend klimaat \longleftrightarrow konstant klimaat
- weinig gegevens beschikbaar \longleftrightarrow veel gegevens beschikbaar

Een 2x2 matrix leverde indien goed ingevuld 4 waarden voor de standaardafwijking van elke gevraagde variabele.

Aannamen bij de verwerking

- Alle ingevulde waarden voor de standaardafwijking zijn gedeeld door de opgegeven gemiddelde waarde. Vergelijkingen zijn gemaakt met de variatiecoëfficiënt V.

$$V = \frac{\sigma}{\mu}$$

waarin:

$$\begin{aligned} \sigma &= \text{standaard afwijking} \\ \mu &= \text{gemiddelde waarde} \end{aligned}$$

- Indien geantwoord is met extreme waarden als spreidingsindicatie voor invoervariabelen is het verschil van extremen gelijk gesteld aan $2 \cdot \sigma$.
- Indien geantwoord is met een spreiding in procenten is aangenomen dat hiermee de variatiecoëfficiënt is bedoeld.

Uit de antwoorden bleek dat een aantal van de ondervraagden geen goed onderscheid kon/wilde maken tussen het gevraagde konstante klimaat en het wisselende klimaat.

Verder bleek de spreiding in de antwoorden opmerkelijk groot. Na bestudering van de antwoorden en de opmerkingen kom ik tot drie konklusies:

1. De vraagstelling op het interviewformulier was voor meerdere uitleg vatbaar.
2. De ervaring in de probabilistische benadering van kustontwikkelingsvraagstukken is nog niet groot.
3. Stochastische spreiding in invoervariabelen kan gesteld worden tussen 50% en 100%. Omdat stochastische onzekerheid zo'n groot aandeel heeft in de totale onzekerheid loont het de moeite kustverdedigingsvraagstukken probabilistisch te bestuderen.

Door deskundigen ingeschatte spreiding in kustontwikkelingsvariabelen

De variabelen zijn als volgt omschreven:

- a. Het jaarlijkse zandtransport langs de kust uit "noordelijke" richting.
- b. Het jaarlijkse zandtransport langs de kust uit "zuidelijke" (tegenovergestelde) richting.
- c. Het netto jaarlijkse zandtransport uit beide richtingen.
- d. De actieve wig van de kustlijn in het één-lijn model, het quotient van verschil in oppervlakte van kustprofiel op twee tijdstippen per strekkende meter, en de gemeten kustverandering op deze tijdstippen op een vastgestelde hoogte.
- e. De effectieve lengte van een strandhoofd, zijnde dat deel van de gekonstrueerde lengte dat het zandtransport tegenhoudt.
- f. De kustoriëntatie (hoek) ten opzichte van een referentie kustlijn waarbij geen zandtransport optreedt.
- g. De hoeveelheid riviersediment dat een rivier per jaar op zee loost.

parameter	VEEL GEGEVENS			WEINIG GEGEVENS		
	min. waarde	gem. waarde	max. waarde	min. waarde	gem. waarde	max. waarde
a. konstant	10%	30%	50%	23%	50%	129%
wisselend	14%	40%	100%	29%	80%	129%
b. konstant	10%	30%	50%	23%	50%	129%
wisselend	14%	40%	100%	29%	80%	129%
c. konstant	25%	44%	104%	30%	80%	150%
wisselend	30%	70%	150%	50%	00%	250%
d. konstant	10%	30%	60%	20%	40%	60%
wisselend	10%	40%	100%	20%	60%	100%
e. konstant	10%	16%	25%	15%	32%	60%
wisselend	10%	26%	50%	15%	46%	100%
f. konstant	2%	35%	71%	4%	60%	140%
wisselend	4%	40%	100%	30%	80%	170%
g. konstant	20%	30%	50%	30%	40%	100%
wisselend	20%	40%	88%	40%	70%	100%

5. PROBABILISTISCHE EXPERIMENTEN MET EEN THEORETISCHE KUSTLIJN B

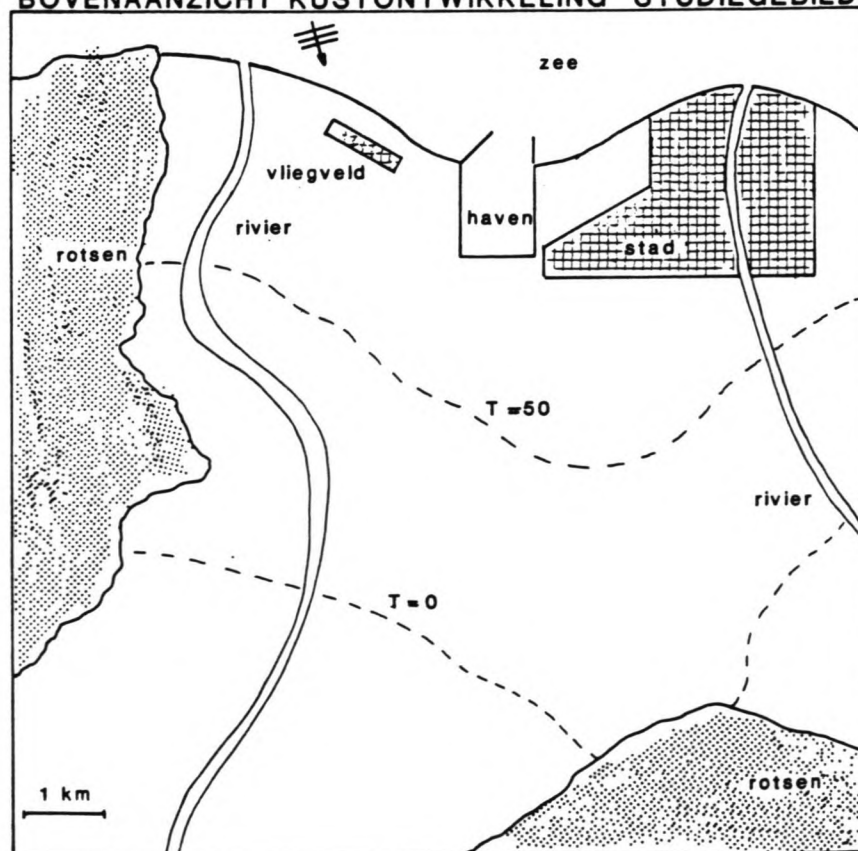
5.1 INLEIDING

Voor presentaties bij AVECO Infrastructure Consultants bv is het COSIM model uitgebreid met de mogelijkheid na Monte-Carlo simulaties kustlijnen weer te geven met een te variëren kans op overschrijden, zie ook Fig.(5.4). Om deze zogenaamde spreidingsband te kunnen toetsen is deze extra studie verricht. Voorts waren naar aanleiding van de resultaten van de vorige studies nog een aantal essentiële aandachtspunten niet expliciet besproken. Zo kon nog niet worden beschreven hoe de onzekerheid in de kustlijnontwikkeling zich voortplant in de tijd. Daarom is deze studie herhaald voor een aantal verschillende simulatietijden.

Doelstellingen

1. Het vaststellen hoe spreiding in de kustontwikkeling zich voortplant in de simulatietijd.
2. Het aftasten van mogelijkheden voor de bouw van een beheersmodel voor kustverdediging.
3. Het doen van nader onderzoek naar invloed van afhankelijkheden in invoervariabelen.

BOVENAANZICHT KUSTONTWIKKELING STUDIEGEBIED



fig(5.1)

5.2 PROBLEEMBESCHRIJVING

Het kustdeel van deze studie is 10 kilometer lang en ligt in een delta-gebied van twee sedimentrijke rivieren. De westpunt van het kustdeel wordt nu vastgehouden door een rotsmassief. Er komt wel zand langs de rotspunt het beschouwde gebied binnen. In de honderd jaar vóór de studie is de delta "in de schaduw" van het massief in de richting van de zee uitgebreid. De kustlijnontwikkeling van de afgelopen honderd jaar is weergegeven in fig(5.1).

Zo'n tien jaar terug zijn er in het land in korte tijd een aantal ingrijpende infrastrukturele werken uitgevoerd.

Twee stuwdammen in de rivieren zijn gebouwd voor de elektriciteitsvoorziening. De lozing van sediment in zee is hierdoor enorm afgenomen tot 20.000 m³/j. Mede hierom werd destijds gedacht dat de kustlijn niet veel meer zou veranderen.

Aan de oostelijke rivier werd een stad gebouwd. Een groot havencomplex werd ongelukkig genoeg exakt in de baai gesitueerd. Verder is, tussen het havencomplex en de rotspunt, op x=3000 m een militair vliegveld aangelegd. De drie genoemde objekten aan de kust dienen operationeel te blijven in de komende vijfentwintig jaar. Voor een aantal kustverdedigingsalternatieven is een kans aan te geven voor het falen van (één) van de objekten.

Met een beslissingsboom volgens Oorschot [Oorschot] kan dan een keuze worden gedaan uit de kustverdedigingsalternatieven. Hierbij wordt een afweging gemaakt tussen de te accepteren kans op falen en de hoogte van het investeringsbedrag.

5.3 FYSISCH MODEL

Eén alternatief is door mij probabilistisch berekend. Voor dit alternatief heb ik de volgende maatregelen getroffen:

- Baggeren van 400000 [m³/j] voor de haven om deze open te houden.
- Het in één jaar aanleggen van een dam loodrecht in zee tussen de haven en het vliegveld om laatstgenoemde te beschermen tegen erosie.
- In de jaren 9 en 19 na T=100, het suppleren van 700.000 [m³/j] zand aan de kust voor de stad over een afstand van 3.500 [m].

Het gebied is als volgt geschematiseerd:

Ylinks = 2000[m]

Srechts = So

haven op Y = 0, tussen x = 4500 [m] en 5000 [m]

Voor de invoer van stochastische variabelen zijn de volgende lognormale verdelingen gekozen:

Variabele	Gemiddeld	Standaard afwijking	Variatie
zandtransport S_0	120000 [m ³ /j]	60000	50%
evenwichtshoek A_e	16 [graden]	2.5	16%
aktieve wig Z	6 [m]	1.5	25%
ly-parameter	2 [-]	.75	38%

5.4 SIMULATIE 1

Doelstelling

Het vaststellen van de invloed van de afhankelijkheid in de invoer-variabelen S (zandtransport), en Z (aktieve wig) met behulp van Monte-Carlo-simulatie.

Uitgangspunten

- Een serie van 500 simulaties met steeds S en Z onafhankelijk getrokken uit hun respectievelijke verdelingen.
- Een serie van 500 simulaties met een relatie tussen S en Z die in het model is verwerkt.
- Lognormale stochastische invoer voor andere invoervariabelen:
 - . effectieve lengte
 - . lyparameter
 - . evenwichtshoek
- Een simulatietijd van 25 jaar.
- De invoerwaarden worden gekorreleerd aangenomen:
 - . gedurende 25 jaar
 - . langs de gehele kust

Probabilistisch model

Om de korrelatie tussen het zandtransport en de actieve wig in het model te brengen, is een relatie tussen deze twee fenomenen opgesteld aan de hand van de volgende aannamen:

- de actieve wig is lineair evenredig met golfhoogte H_0 op diep water;
- het zandtransport is afhankelijk van de golfhoogte met een exponentiële faktor 2.5.

De volgende relatie is in het model ingevoerd:

$$S = A \cdot (Z)^{2.5} \quad (36)$$

waarin:

S	=	zandtransport	[m ³ /j]
A	=	koëfficiënt	[m ^{0.5} /j]
Z	=	aktieve wig	[m]

De actieve wig heeft voor beide simulaties dezelfde stochastische parameters:

gemiddelde waarde	6 meter
standaard afwijking	1.5 meter.

Voor de simulatie met onafhankelijke trekking voor het zandtransport heeft deze variabele de volgende stochastische parameters:

gemiddelde waarde	120.000 m ³ /j
standaard afwijking	60.000 m ³ /j.

In de simulatie waar gebruik wordt gemaakt van formule (36) voor het bepalen van het gemiddelde jaarlijkse zandtransport, heeft de correctiefactor A een stochastische verdeling:

gemiddelde waarde	1.360 m ⁵ /j
standaard afwijking	100 m ⁵ /j.

Deze waarden zijn bepaald door middel van iteraties voor de gemiddelde waarden en standaard afwijkingwaarden van de beide invoervariabelen.

Resultaten

In de volgende tabel zijn verschillende waarden voor de hoeveelheid erosie of aanzanding op overeenkomstige plaatsen langs de kust na 25 jaar naast elkaar gezet:

X [m]	KUSTONTWIKKELING [m]				
	S= A.(Z) ^{2.5}		Onafhankelijk		Verschil $\frac{(V1-V2)}{V2} * 100\%$
	μ [m]	σ [m]	μ [m]	σ [m]	
1000	109	5	108	8.8	40%
1500	80.9	8	81.9	13	38%
2000	91.9	11	87.9	16	34%
2500	356	11	353	16	33%
5500	210	83	202	76	5%
6000	22	41	56	62	40%
6500	405	62	443	108	38%

De gemiddelde waarden komen goed met elkaar overeen. De afwijking in de spreiding van beide simulaties is weergegeven in de laatste kolom. Daarbij blijkt dat de spreiding groter is in het model waar waarden voor zandtransport en actieve wig onafhankelijk worden getrokken. Dit valt te verklaren doordat een combinatie van een groot zandtransport en een kleine wig, of andersom, een extreme kustligging tot gevolg kan hebben, die groter moet zijn dan extremen in het model waar beide waarden aan elkaar gekoppeld zijn. Een grote wig zal dan vaak optreden in combinatie met een grote hoeveelheid zandtransport en een kleine wig met een klein zandtransport. Dit zijn combinaties waarbij in het algemeen de kust niet snel voor- of achteruit zal gaan. Zie hiervoor ook de continuïteitsvergelijking (1).

Konklusies

De vorm van de verschillende overschrijdingskrommen en histogrammen wordt niet beïnvloed door het verschil in het model.

Ook de resultaten van deze simulatie laten zien dat de vorm van de overschrijdingskrommen en histogrammen niet duidelijk wordt beïnvloed door de stochastische invoerwaarden. Deze lijkt veel meer te worden bepaald door de tijdsfactor in de simulatie. De grootte van de spreiding wordt wel beïnvloed door een aanpassing in de modelaannamen. Dit is te vergelijken, en eventueel te vervangen door te variëren in de spreiding van invoervariabelen in het oorspronkelijke model.

5.5 SIMULATIE 2

Doelstelling

Het bepalen van de spreiding in de kustontwikkeling bij variaties in de simulatietijd.

Uitgangspunten

- Als simulatietijd T_m is gekozen:
 - . .5 jaar
 - . 1 jaar
 - . 10 jaar
 - . 25 jaar
- 500 simulaties met Monte-Carlo methode.
- Stochastische invoervariabelen onderling onafhankelijk
- Stochastische invoer:

	gemiddeld	stand. afw.	V
a. effectieve lengte	675 [m]	[m]	
b. ly-parameter	2 [-]	.75 [-]	38%
c. evenwichtshoek	16 [°]	2.5 [°]	15%
d. zandtransport	120000 [m ³ /j]	60.000 [m ³ /j]	50%
e. actieve wig	6 [m]	1.5 [m]	25%
- Invoervariabelen volledig gekorreleerd, gedurende hele simulatie en langs de kust.

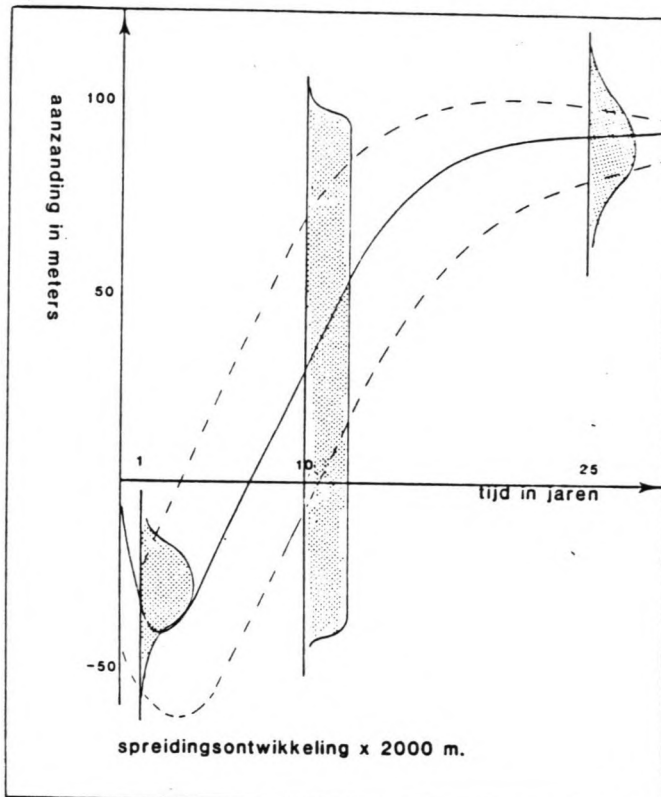
Resultaten

Om een goed beeld te krijgen van de ontwikkeling in de spreiding van de kustontwikkeling in de loop van de simulatie, zullen de resultaten worden besproken door de verschillende simulaties (met ieder een verschillende simulatietijd) per plaats langs de kustlijn.

Voor de plaats met de x-koördinaat 1000 m links van de rivier is in fig(5.2) de kustontwikkeling weergegeven in de loop van de tijd. Opvallend is dat in deze figuur twee fasen zijn te onderscheiden:

1. Grote aanzanding per tijdseenheid van $T = 0$ tot $T = 3$.
2. Stabiliseren naar evenwicht vanaf $T = 3$.

Dit wordt veroorzaakt door de orientatie van de kustligging t.o.v. de evenwichtshoek A_e . Op $X = 2000$ m neemt het transport in die fase nog enorm toe, met alle gevolgen van dien. Op $T = 10$ vindt juist de overgang plaats van het ene overheersende proces (erosie) naar het andere proces (aanzanding), zie fig.(5.3).

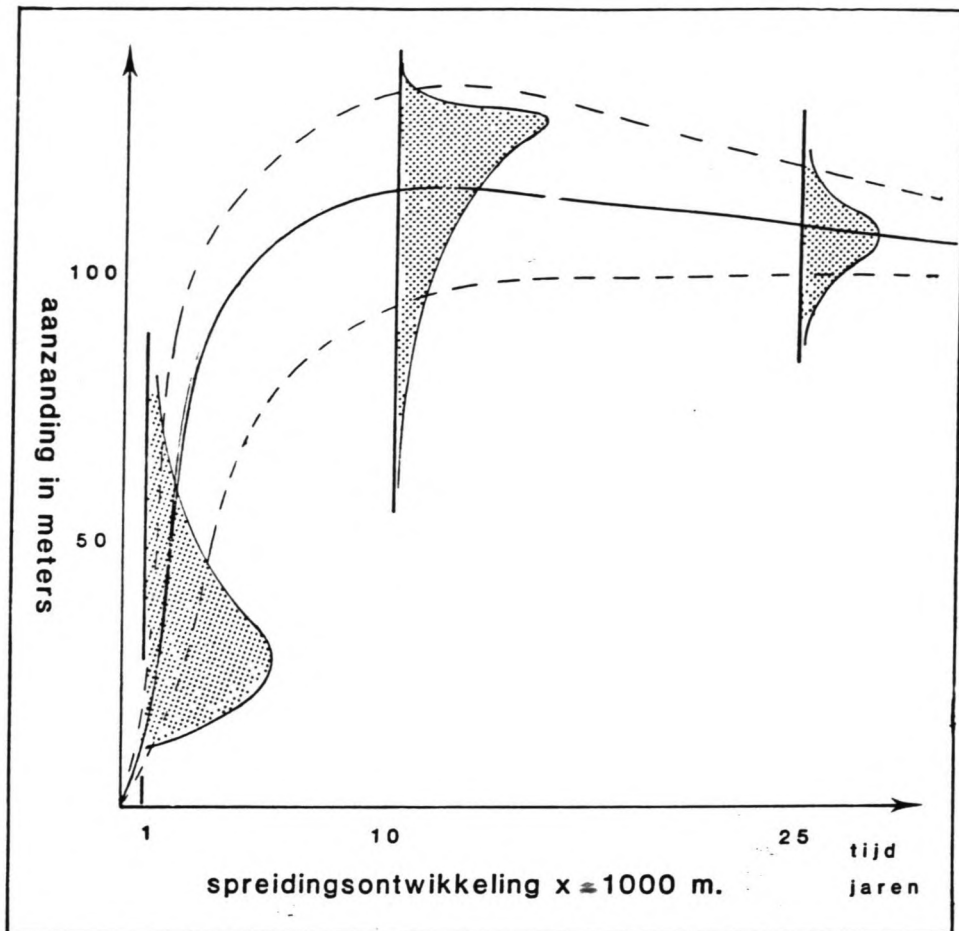


fig(5.3)

Het gevolg is een globaal uniforme verdeling, omdat de zeer uiteenliggende extremen aan beide zijden van de kansdichtheidsfunctie worden geblokkeerd en beide processen op $T = 10$ in de verschillende simulaties voorkomen.

In fig(5.4) is de kustontwikkeling getoond na één, tien en vijftwintig jaar spreidingsband voor de kans van over- en onderschrijden van .01. Hierin is zichtbaar dat in de bovenste kustontwikkeling (kans op overschrijden = .01) het proces van aanzanden overheerst en in de onderste kustontwikkeling de lijn nog enigszins de oorspronkelijke bocht van de kustlijn volgt. Op grond hiervan kan verondersteld worden dat het aanzandingsproces nog niet overheerst voor kustontwikkelingen met een kans op overschrijden van de onderste lijn.

Na deze overgang ontwikkelt ook op deze x-koordinaat $X = 2000$ m op $T = 25$ een evenwichtsligging van de kustlijn met een normale verdeling en een variatie die niet groter is dan variaties van de invoervariabelen.



fig(5.2)

Oorzaak van deze ontwikkeling is de bouw van het strandhoofd op $x = 3000$ m., op het tijdstip $T = 1$ jaar. Vanaf het moment dat de invloed van deze bouw ook op $x = 1000$ m merkbaar is, neemt ook de spreiding af. In de evenwichtssituatie die is ontstaan na 25 jaar heeft de stochastische kustlijnpositie een normale verdeling met een variatie van 7%.

In de twee fasen daarvoor wordt de vorm van de verdeling bepaald door eigenschappen van die fasen.

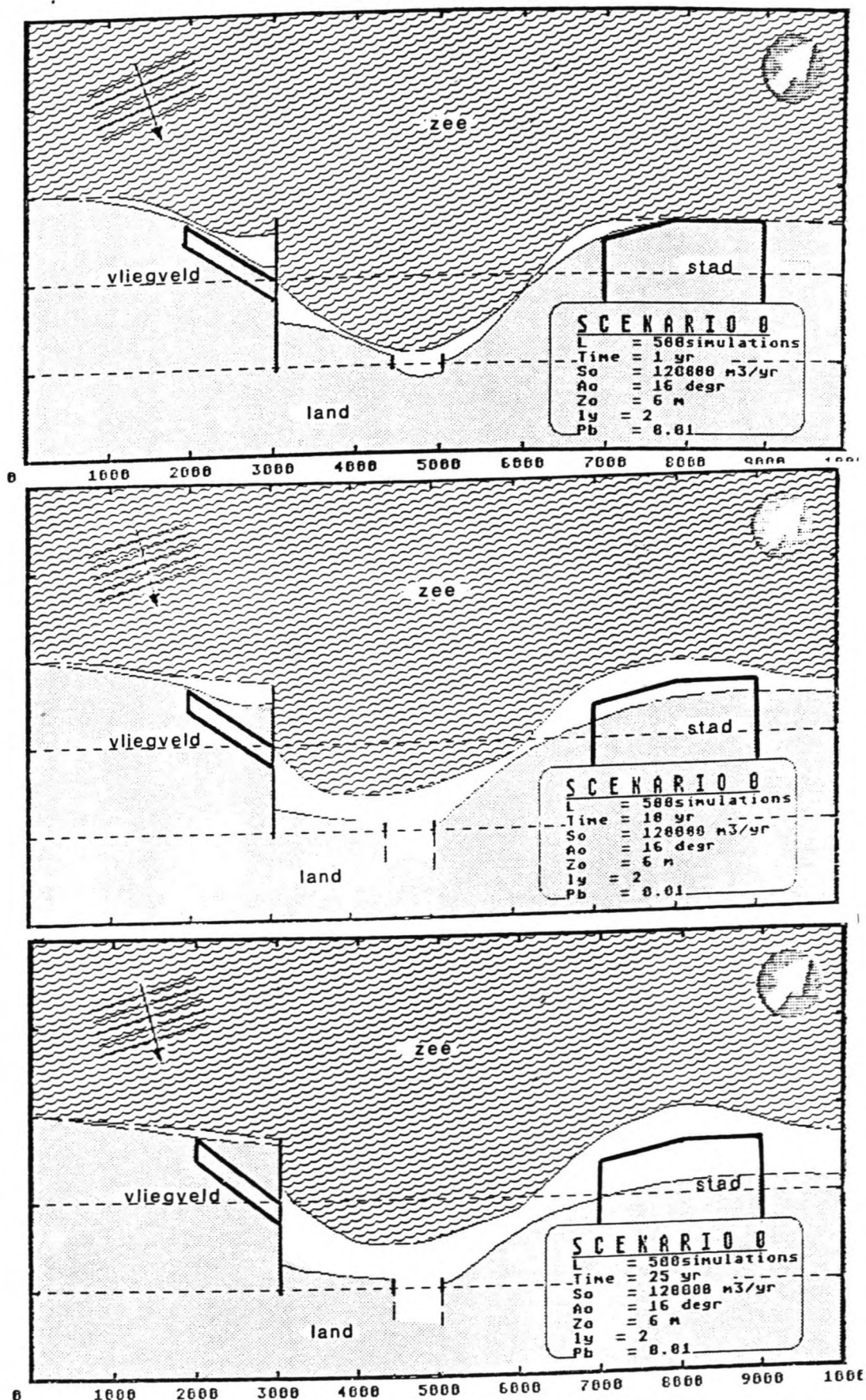
In de eerste fase divergeert de spreiding door de extreme aanzanding en kan er door de beginvoorwaarden (kustligging) geen erosie optreden, waardoor de verdeling scheef is.

In de tweede fase overheerst het proces van evenwicht zoeken tegen het strandhoofd op $x = 3000$ m en worden extreme aanzanding waarden geblokkeerd.

Hetzelfde patroon wordt gevonden op de plaats $x = 1500$ m. Op de plaats $x = 2000$ m vindt in de eerste fase nog overheersend erosie plaats.

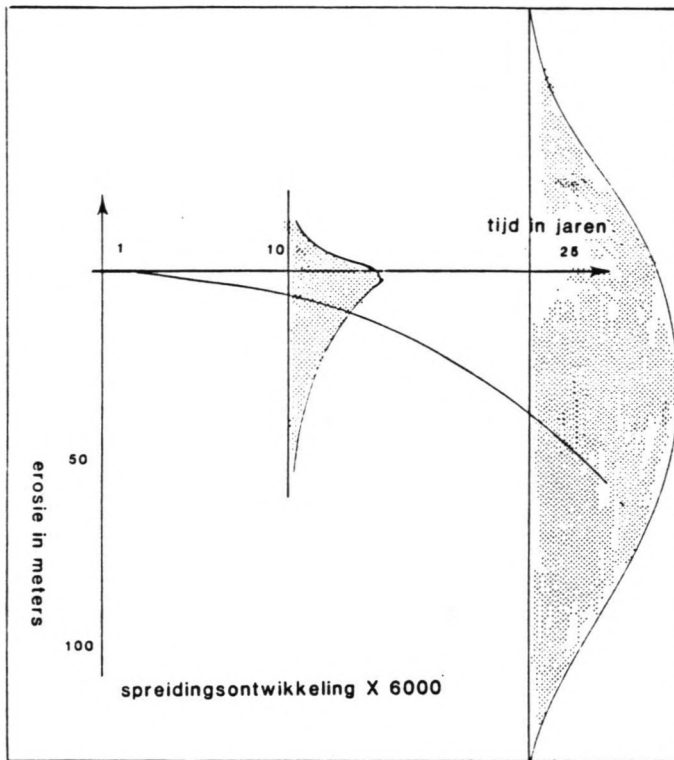
In het oostelijk deel van de baai is getracht erosie tegen te gaan door middel van zandsuppleties. Zandsuppleties leggen de kustlijn niet "vast", zoals strandhoofden en dijken dat doen.

PLANVIEW



fig(5.4)

Dit betekent dat de kustontwikkeling in dit gebied niet convergeert naar een evenwichtsligging. Wellicht is dit de reden dat de spreiding in de kansdichtheidsfuncties met de tijd in grote mate kan toenemen. Een goed voorbeeld hiervan is weergegeven in fig(5.5), de kustontwikkeling in de tijd op plaats $X = 6.000$.



fig(5.5)

Konklusies

Als weergave van de werkelijke kustontwikkeling, met de verdedigingsontwerpen, is deze simulatie niet geslaagd. De stochastische spreiding was zo groot dat gekombineerd met de beginvoorwaarden (kustligging) de modelonzekerheid vermoedelijk de betrouwbaarheid van de resultaten heeft aangetast ($A_e - dY/dx > 30^\circ$).

Extreme waarden voor lengtes van standhoofd en de evenwichtshoek ten opzichte van de kustligging hebben er echter wel voor gezorgd dat een goed inzicht is verkregen in de ontwikkeling van kansdichtheidfuncties in de tijd voor een aantal plaatsen langs een kust.

De volgende theorie over stochastische kustlijnontwikkelingen is gebaseerd op dit verkregen inzicht.

Er zijn drie overheersende fasen in de kustontwikkeling te onderscheiden:

1. overheersend eroderende fase;
2. overheersende aangroeiende fase;
3. evenwichtsfase.

De spreiding in de kustlijnpositie kan enorme vormen aannemen als er sprake is van een sterk eroderende of aanzandende kust. In de evenwichtsfase kan de spreiding in de kustlijnpositie verminderen tot beneden de gemiddelde spreiding van de invoervariabelen.

Het invoeren van diskontinuiteiten (zie hoofdstuk 2, deel I) of van veranderende waarde van diskontinuiteiten heeft gevolgen voor de kustligging (mogelijk verandering van overheersende fase) en dientengevolge zeker voor de spreiding in de kustlijnpositie. Is er in een simulatie sprake van zo'n (plotselinge) verandering dan moet er extra aandacht worden besteed aan mogelijke probabilistische gevolgen.

6. RANDOM GENERATOR VALIDATIE

6.1 INLEIDING

Doelstellingen

- Het testen van het Random-Generator-programma.
- Het vergelijken van verschillende transformatieformules voor het verkrijgen van een standaard-normale verdeling.

Uitgangspunten

- Een berekening waarvan de exakte oplossing is berekend door Vrijling [Vrijling].
- Vergelijking van drie transformatiemethoden:
 - a. sommatiemethode, 12 trekkingen
 - b. sommatiemethode, 48 trekkingen
 - c. polaire methode
- Aandacht wordt besteed aan de betrouwbaarheid van de resultaten en de tijdsduur van de simulatie.

6.2 SOMMATIEMETHODE

Een variabele uit een uniforme verdeling kan worden getransformeerd tot een variabele met een standaard-normale verdeling door middel van de volgende transformatiefunctie:

$$Y = \frac{\left[\sum_{i=1}^n X_u \right]^{-n/2}}{n/12} \quad (37)$$

waarin:

- Y = de variabele met een standaard-normale verdeling
- X_u = de getrokken waarde uit een uniforme verdeling
- n = het aantal te verrichten trekkingen

Het is voor deze methode noodzakelijk n keer een getal random te trekken. Voor een grote waarde van n zal de betrouwbaarheid van de trekking groter zijn dan voor kleine n. In de vergelijkingsstudie is gekozen voor n = 12 en n = 48.

Bij de keuze van de waarde voor n kan worden meegenomen hoeveel stochastische variabelen gesimuleerd moeten worden. Zo zullen extreme gegenereerde getallen in een berekening met minder stochastische variabelen een grotere bijdrage in de betrouwbaarheid van het eindresultaat hebben dan extreme getallen in berekeningen met meer variabelen.

6.3 POLAIRE METHODE

Met de polaire methode kunnen twee standaard-normale variabelewaarden worden gegenereerd met één random getrokken getal. Dit gebeurt met de volgende transformatiefuncties:

$$Y1 = -2 \text{ Ln } (X_u) \cdot \cos(2\pi \cdot X_u) \quad (38)$$

$$Y2 = -2 \text{ Ln } (X_u) \cdot \sin(2\pi \cdot X_u) \quad (39)$$

Waarin:

Y1, Y2 = de twee waarden uit een standaard-normale verdeling
X_u = getrokken waarde uit uniforme verdeling

6.4 MODEL

Voor de vergelijking met bovenstaande methoden wordt het volgende probleem berekend:

De sterkte R van een draad wordt bepaald door de diameter d en de breuksterkte σ volgens:

$$R = \frac{\pi d^2 \sigma}{4} \quad (40)$$

Voor de belasting wordt om het probleem tot twee dimensies te beperken, een deterministisch bekende kracht van 100 kN gekozen.

$$B = 100 \text{ kN}$$

Als betrouwbaarheidsfunctie resulteert nu:

$$Z = R - B = \frac{\pi d^2 \sigma}{4} - B < 0 \quad (41)$$

De draaddiameter en de vloeispanning zijn normaal verdeeld met als parameters:

	GEMIDDELDE	STANDAARDAFWIJKING
diameter	30 [mm]	3 [mm]
vloeispanning	290 [N/mm ²]	25 [N/mm ²]

6.5 RESULTATEN

De analytisch berekende faalkans zoals beschreven in [Vrijling] is 0.0022. Voor de verschillende methoden is de berekende kans op falen weergegeven in de tabel.

De betrouwbaarheid is uitgedrukt in de procentuele afwijking van de analytische waarde.

Bovendien is nog bijgehouden hoe lang de simulatie heeft geduurd. Omdat de tijdsduur van de berekening zelf niet afhankelijk is van de getrokken waarde kan worden bepaald wat de duur is van één iteratie. Dit getal kan worden gebruikt als vergelijking voor de duur van het trekken van een waarde uit een normale verdeling.

Methode	simulatietijd [s]	kans (*E-3)[-]	variatie %
sommatie, 12	.00485	2.62	20
sommatie, 48	.0255	2.44	11
polaire	.00675	2.33	6

Konklusies

Het aantal seconden dat nodig is voor het trekken van getallen blijkt vele malen kleiner te zijn dan de duur van één berekening met COSIM. Een COSIM-berekening duurt gemiddeld 30 minuten. Daarom is voor de keuze van de trekkings-methode voor dit onderzoek de tijdsduur niet van belang. De betrouwbaarheid van de polaire methode is doorslaggevend voor de keuze van deze methode voor dit onderzoek. Daarbij dient nog wel vermeld te worden dat COSIM berekeningen vaak zullen worden uitgevoerd met een groter aantal stochastische variabelen. Dit kan leiden tot een minder grote afwijking in de resultaten dan hier is weergegeven. Bovendien is in deze vergelijking aangenomen dat de invloed van de verwerking van een getal uit een standaard-normale verdeling tot een getal met een normale verdeling met eigen gemiddelde waarde en standaardafwijking nihil is.

LIJST VAN SYMBOLEN

A	[°]	= golfhoek t.o.v. de kustlijn aan profielteen
Ab	[°]	= golfhoek t.o.v. de kustlijn in de brekerzone
Ae	[°]	= golfhoek t.o.v. referentiekustlijn op de dieptelijn die niet meer onder invloed zal zijn van kustverandering
Ag, Agroin	[°]	= golfhoek t.o.v. kustlijn ter hoogte van het strandhoofd
Aly	[°]	= hoek tussen gediffrakteerde golfstraal en strandhoofd
Ao	[°]	= golfhoek t.o.v. referentiekustlijn op diep water
B	[-]	= belasting
Cbodem	[kg/m ³]	= concentratie van zand op de bodem
cbr	[m/s]	= golfsnelheid in de brekerzone
Cchezy	[m ^{1/2} /s]	= coëfficiënt van Chezy
C1	[m]	= korrelatielengte
c0	[m/s]	= golfsnelheid op diep water
CT	[s]	= korrelatietijd
Czand	[kg/m ³]	= concentratie van zand in suspensie
Da	[°]	= golfrichtingsverandering door diffractie
D50	[m]	= 50% van de diameter van het mengsel heeft een kleinere waarde dan de D50 waarde
E	[%]	= relatieve grootte van de betrouwbaarheid
Hbr	[m]	= golfhoogte in de brekerzone
HW	[m]	= hoogwaterstand
H0	[m]	= golfhoogte op diep water
hkop	[m]	= waterdiepte op de kop van het strandhoofd
I	[-]	= teller in lengteschaal
Ieff	[m]	= effectieve lengte van het strandhoofd t.o.v. referentielij
Lg, groin	[m]	= ontwerplengte van het strandhoofd t.o.v. referentielij
Lo	[m]	= golflengte op diep water
LW	[m]	= laagwaterstand
Ly	[-]	= Ly-parameter voor invloed schaduwzone konstruktie
m	[-]	= helling van het talud
N	[-]	= aantal iteraties
n	[-]	= teller in tijdschaal
Pb	[-]	= kans op overschrijden
Qsource	[m ³ /j]	= zand-dwarstransport
R	[-]	= sterkte
r	[m]	= bodemruwheid
S	[m ³ /j]	= zandtransport
Sgr	[m ³ /j]	= zandtransport langs het strandhoofd
Sly	[m ³ /j]	= correctieterm voor transport achter konstruktie
So	[m ³ /j]	= zandtransport langs ongestoorde referentiekust
Sx	[m ³ /j]	= kustkonstante
T	[s]	= golfperiode
t	[j]	= simulatietijd
V	[m ³]	= volume
V	[%]	= variaties
v	[m/s]	= snelheid van het water
x	[-]	= plaatscoördinaat
X	[-]	= ontwerp punt
Xu	[-]	= getal uit uniforme verdeling
Xn	[-]	= getal uit normale verdeling
Xln	[-]	= getal uit lognormale verdeling
Y	[m]	= kustpositie
Yanal	[m]	= analytisch berekende kustpositie
Z, Zo	[m]	= actieve wig
Zn	[-]	= betrouwbaarheidsvariabele
gamma	[-]	= brekerindex
mu	[-]	= gemiddelde waarde
sigma	[-]	= standaardafwijking

BIJLAGE

VERGELIJKING MEETRESULTATEN - SIMULATIERESULTATEN, LOBITO, ANGOLA

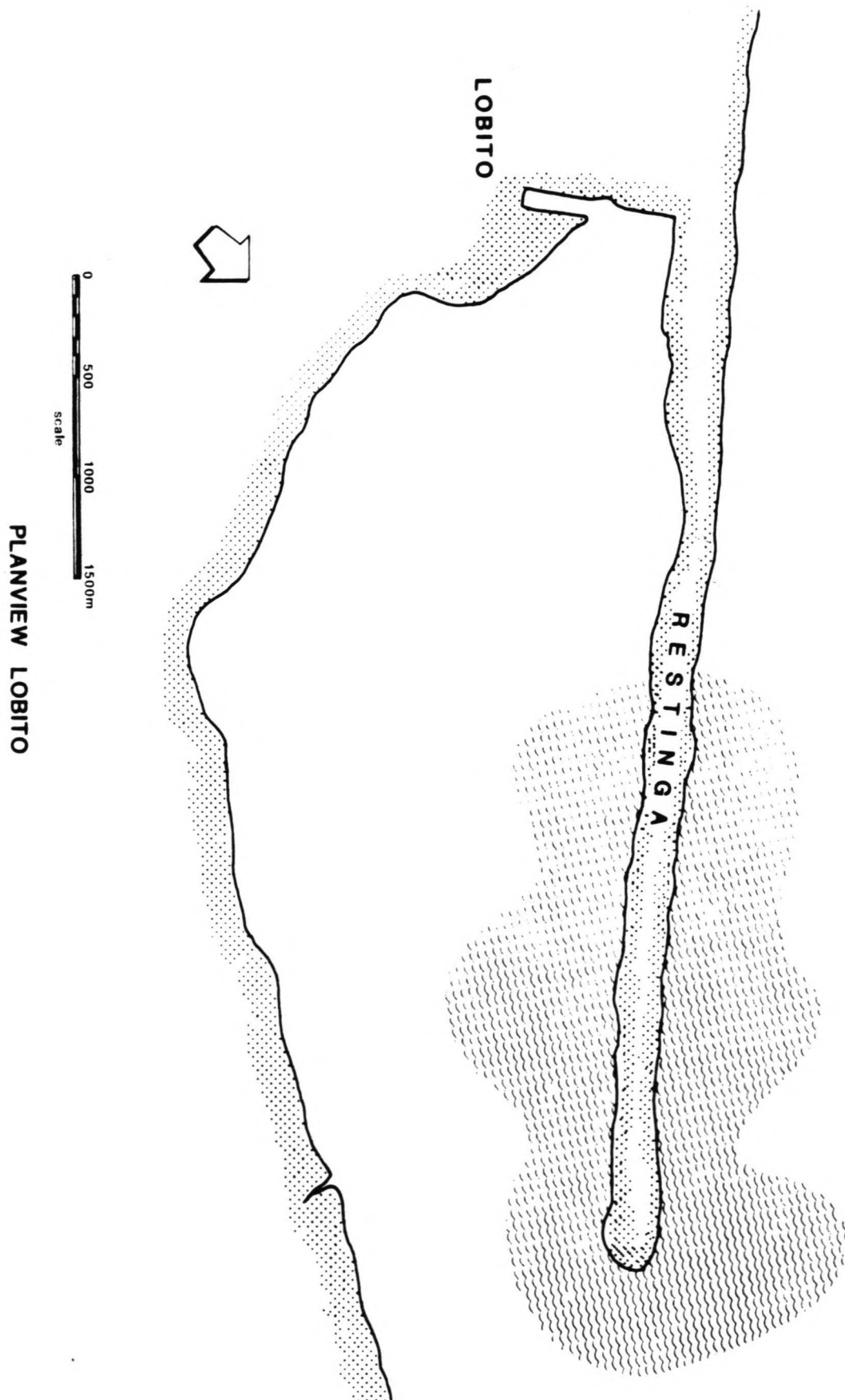
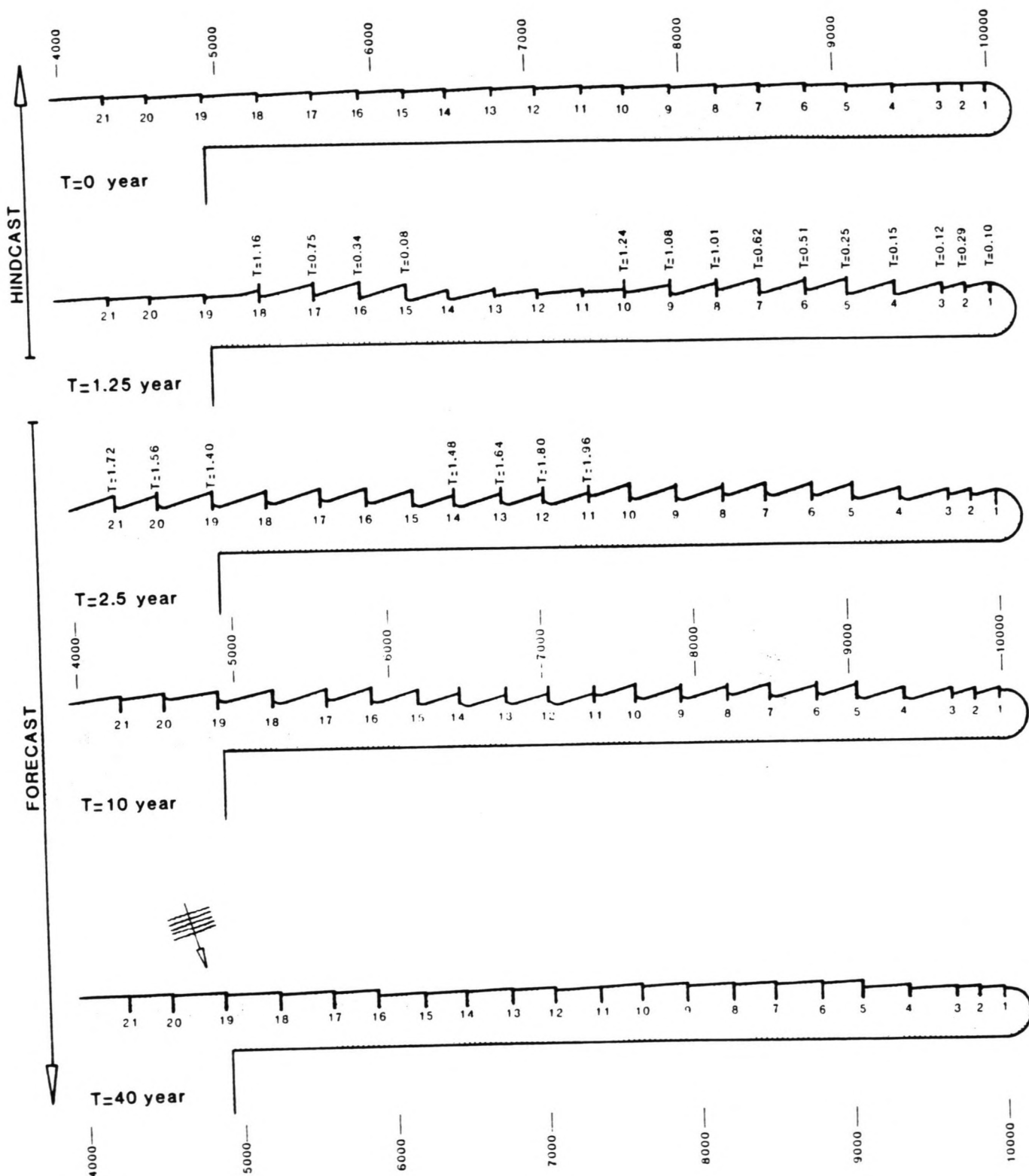


Fig. 2 Plan view Lobito



SIMULATION LOBITO

Fig. 4 Simulation Lobito

A best fit had to be established of the accretion/erosion which took place in the time between the two surveys. The change in Y-coordinate was obtained in three ways:

a) The coastline change at the ZH level.

This represents the accretion or erosion at chart datum, which corresponds with the low water line. The coastal coordinate at this level is usually obtained by interpolation of the land survey and the sea survey.

b) The coastline change at the ZH +2 m level.

This level is somewhat higher than the high water level. This coordinate is obtained from the results of the land survey and is therefore very accurate. This value is the most realistic one regarding potential erosion danger for roads or houses.

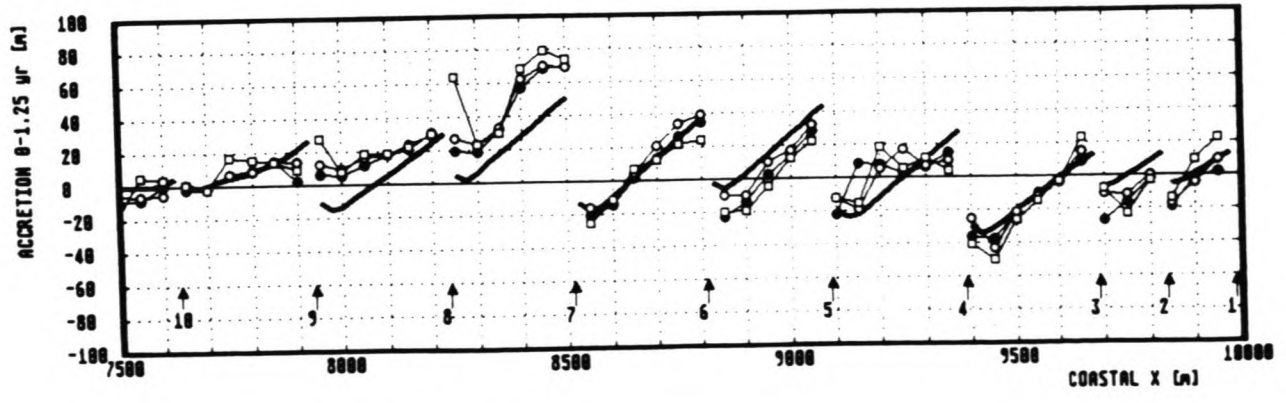
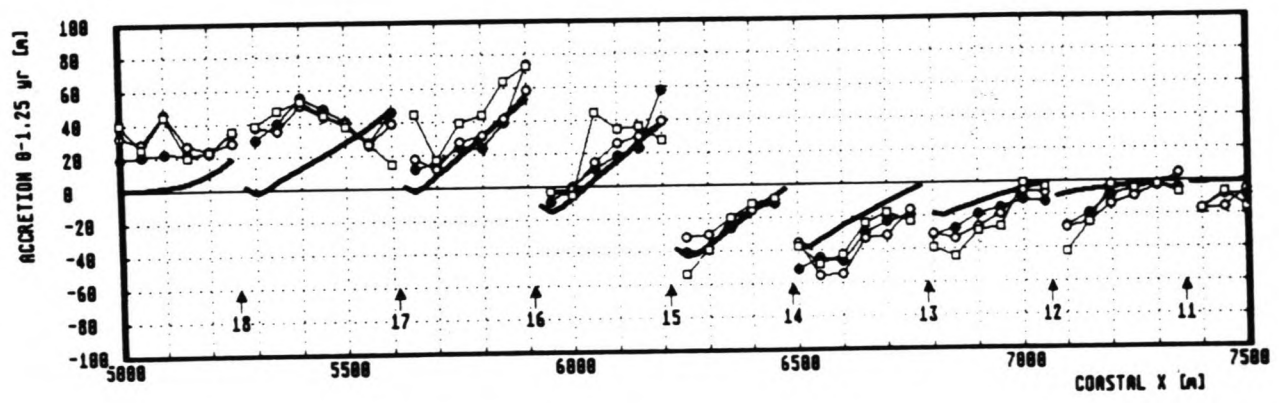
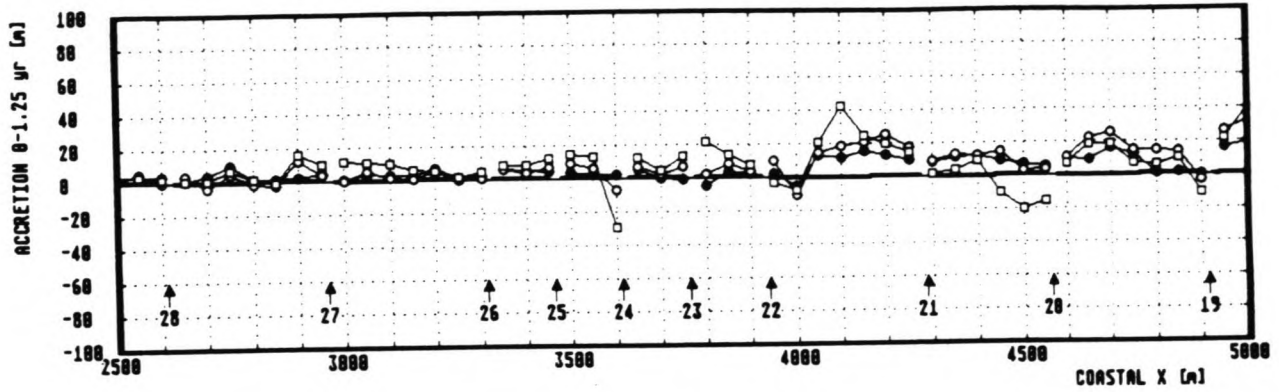
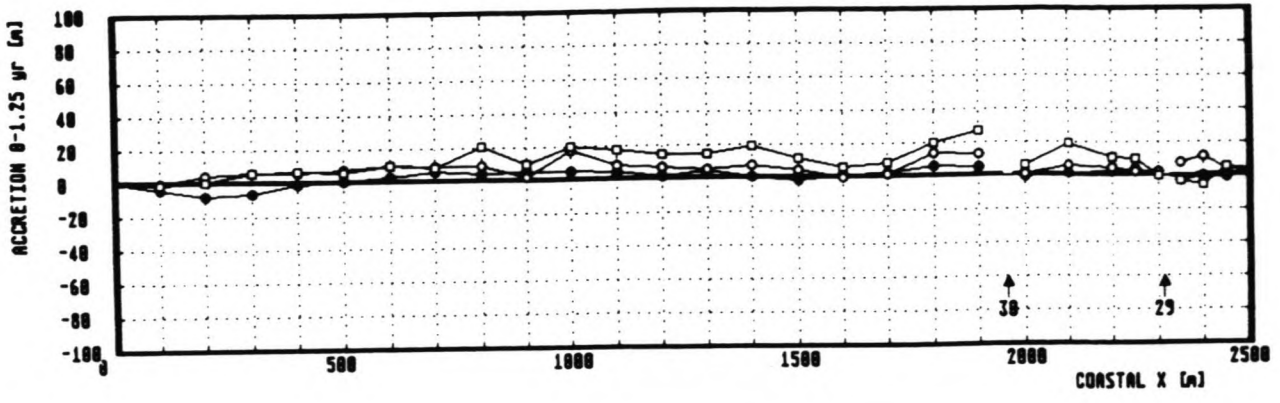
c) The coastline change from volumetric calculations.

This value is obtained by dividing the change in cross-sectional area by the active height Z , used in the simulation model. The change is calculated from the top of the land survey upto 250 m from the survey 0-coordinate. For all profiles this was well beyond the depth at which major coastal change was expected. This value represents the coastal change in sand volumes.

Simulation hindcast results

The coastline development according to the simulation is shown in Fig. 4.

In Fig. 5 the survey results a, b and c and the results from the simulated hindcast have been presented. All these results represent the coastal erosion or accretion distance between $T=0$ (September 1985) and $T=1.25$ (November 1986). It can be observed that the survey results a, b and c show the same tendencies.



- erosion simulated
- a. o erosion at ZH level
- b. ● erosion at ZH + 2.0m level
- c. □ erosion from volumes

The scatter caused by nature itself can be estimated by observing the development of the coast at the southwestern side, where no groins have been built yet. In this area coastal changes over a distance of up to 20 m have occurred.

The scatter caused by nature and measuring techniques can also be estimated from the deviation between a, b and c and is in the order of 5 m with a maxima of 20 m.

The simulation shows a good agreement with the survey results. The simulation describes the coastal change around the groins and along the undisturbed coast within the range of natural scatter.

Some differences are:

- A. The simulation underestimates the erosion between groin 10 and groin 14. This is caused by the fact that in the model a groin blocks the sand transport completely if the beach has not accreted up to the effective length. Between groin 10 and 14 the existing groins are very short and hence do not extend beyond the breaker zone. It can be expected that sand can still be transported along such a groin.
- B. The simulation underestimates the accretion between groin 10 and groin 7. This is partly caused by the above, as the extra eroded material between groin 14 and 10 is caught between groin 10 and 7. Furthermore a calesa destroyed the core of groin 8 during construction and can have caused more accretion in front of groin 7 than that indicated by the simulation (the simulation calculates with an average sand transport).
- C. The simulation underestimates the accretion between groin 20 and groin 16. The same calesa which destroyed groin 8 also took place while groin 17 was under construction, and thus caused an additional sand deposit there.

It can be concluded that the simulation results give a very good agreement with the measurements.

LITERATUURLIJST

- Battjes, J.A.,
Korte golven, Kollegediktaat, Delft, 1985
- Hanson, H.
Genesis, A generalized shoreline change numerical model for engineering use. Lund, Sweden, 1987
- Hodges, J.S.
Uncertainty, Policy Analysis and Statistics, april 1986
- Kraus, N.C.
Applications of a shoreline prediction model.
Proceedings of Coastal Structures, 1983
- Massie, W.W., e.a.
Coastal Engineering, Volume I, Introduction
Delft, 1986
- Massie, W.W., e.a.
Coastal Engineering, Volume II, Harbour and beach problems
Delft, 1986
- Oorschot, H.J.M.
Operationele- en risicoanalyse, Kollegediktaat
Delft, voorjaar 1984
- Schinagl, R.A.M.
Afstudeerverslag T.U. Delft
Delft, mei 1986
- Sweeney, D.J., e.a.
System Dynamics, handleiding
Delft, 1979
- Vrijling, J.K. Vrouwenvelder, A.C.W.M.
Probabilistisch Ontwerpen, Kollegediktaat
Delft, 1986
- Le Mehauté, B., Koh, R.
On the breaking of waves arriving at an angle with the shoreline.
Journal of Hydraulic Research, 1967, Volume 5.

