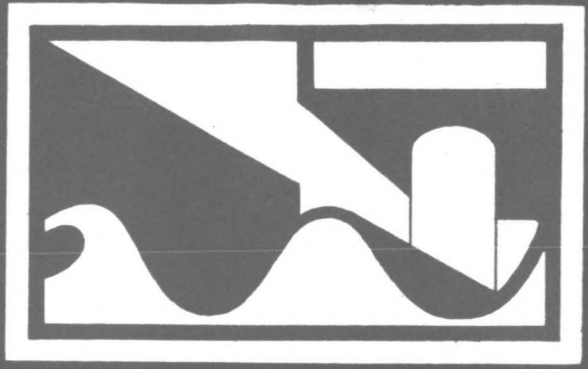
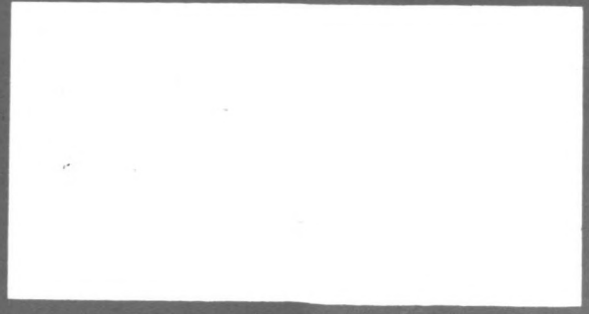


614A



Technische Hogeschool Delft
Afdeling der Civiele Techniek
Afgroep Kustwaterbouwkunde



Z A N D T R A N S P O R T

B I J

P A R A C H I Q U E

G MARANGONI

3 JANUARI 1985

'Zandtransport bij Parachique' is het verslag van het tweede deel van het afstuderen uitgevoerd bij Prof. E.W. Bijker, vakgroep kustwaterbouwkunde, afdeling der Civiele Techniek, T.H. Delft.

Het eerste deel 'Brandingstroom bij Parachique', en het derde deel 'Havenmonding bij Parachique' completeren dit afstuderen.

Tijdens het werken aan dit verslag heb ik regelmatig dankbaar gebruik gemaakt van assistenties en adviezen van ir. R. Reinalda en Prof. E.W. Bijker.

Mijn speciale dank gaat uit naar dr. H.G. Wind, zonder wiens adviezen hoofdstuk III niet in de huidige vorm tot stand had kunnen komen.

SUMMARY

In this report the sediment transport at Parachique, Peru, is calculated. This has been done in two different ways.

First the Bijker method has been applied. This has been done by taking the significant wave height as representative for the wave spectrum and by choosing an equivalent wave height as representative for the significant wave height distribution for every 10° sector of wave direction.

Then theories about spiral bays, Wind and Silvester, have been studied and the sediment transport at Parachique is computed by using methods based on spiral bay theories.

Finally by confronting the results of the two methods it has been concluded that the sediment transport at Parachique should be of $70.000 \text{ m}^3/\text{year}$.

<u>INHOUD</u>	blz.
I ALGEMEEN	2
II METHODE VAN BIJKER	5
1 Toelichting methode	5
2 Toelichting stroomsnelheid	8
3 Toelichting andere variabelen	14
4 Resultaten	18
III SPIRAALKUSTEN	22
1 Algemeen	22
2 Erosieproces	23
3 Sedimenttransport	36
IV CONCLUSIES	47
V BIBLIOGRAFIE	49

Bijlagen:

A: Berekening zandtransport, methode Bijker

B: Zandtransport bij de sluitlijn baai

C: Zandtransport uit kustachteruitgang

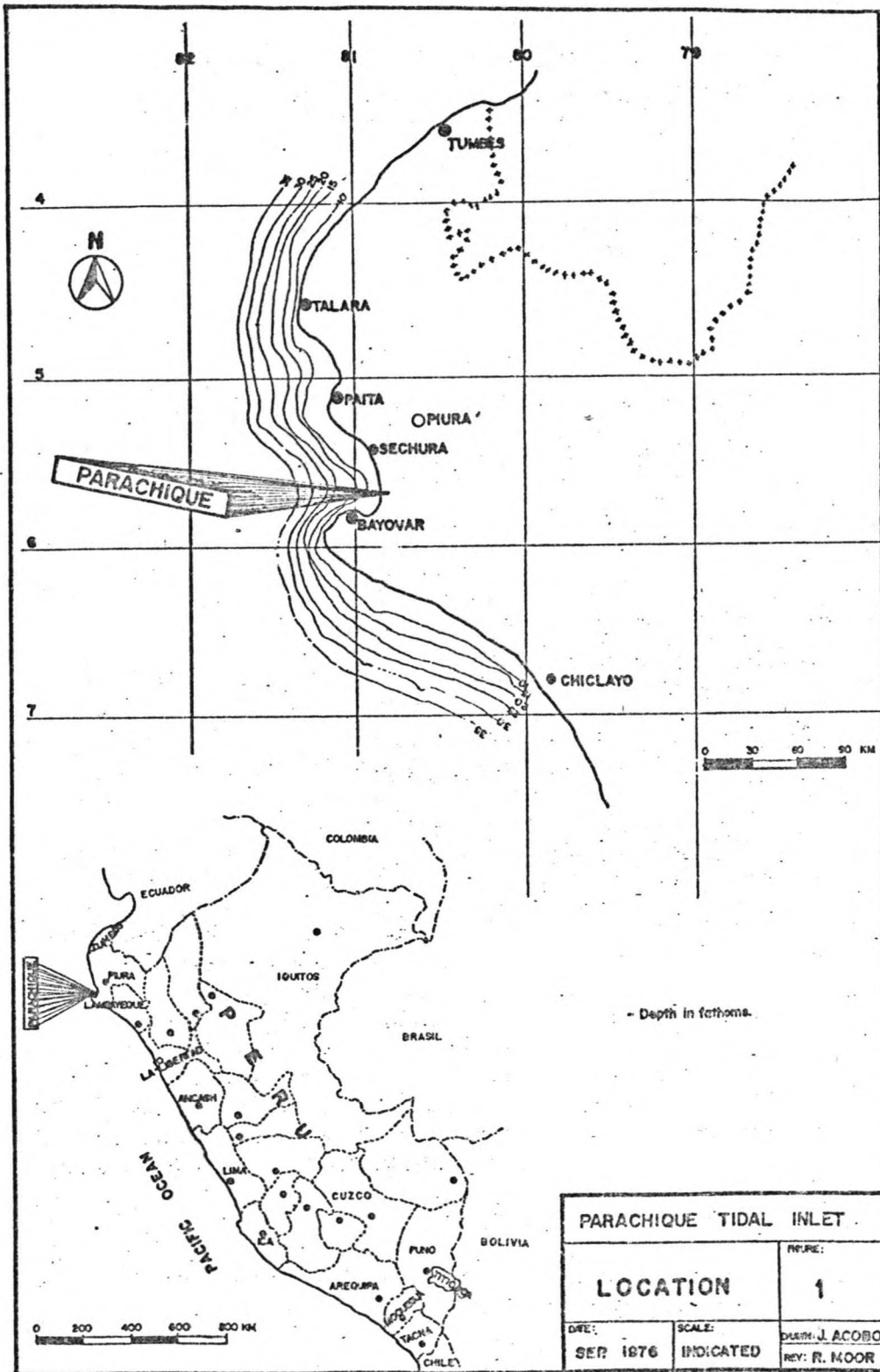
D: Zandtransport uit kustachteruitgang

I ALGEMEEN

Parachique is een economisch belangrijke visserijhaven in het noorden van Peru (fig. 1 en 2). De haven ligt beschermt tegen de zee in een natuurlijke inham, het "Estuario de Virrila". Dit is, in tegenstelling tot wat de naam zou doen geloven, geen echt estuarium want er is geen rivierafvoer. De inham is ongeveer 30 km lang en is gelegen aan een grote spiraalvormige baai. Deze baai strekt zich uit van Bayovar in het zuiden, tot Pta. La Cruz in het noorden. Het geheel, baai en inham, maakt deel uit van een zeer visrijk gebied aan de Stille Oceaan.

De monding van de inham is een probleem voor de scheepvaart. Het is er namelijk ondiep en bovendien is de bodem instabiel want hij verandert constant van ligging in de loop van de tijd, zodat de vissersschepen slechts tijdens hoog water en met grote voorzichtigheid in en uit de haven kunnen varen.

Getracht moet worden deze situatie te verbeteren. Het is dan gewenst een schatting te krijgen van het zandtransport langs de kust van de baai t.p.v. de inham. Van de verschillende methoden waarmee sedimenttransporten kunnen worden berekend is hier gekozen voor de Bijker-methode, zie hoofdstuk 2. Dit, omdat deze methode zich het meest leent voor dit soort baaiconfiguraties; in fig. 2 valt op dat de baai de vorm van een spiraal heeft. In hoofdstuk 3 wordt het een en ander over spiraalkusten verteld, wat kan helpen de morfologie van zo'n kust beter te begrijpen. Bovendien wordt een mogelijke toekomstige methode aangegeven waarmee het zandtransport langs spiraalvormige kusten berekend zou kunnen worden. Uiteindelijk wordt in hoofdstuk 4 een eindconclusie gegeven van deze studie van het zandtransport bij Parachique.

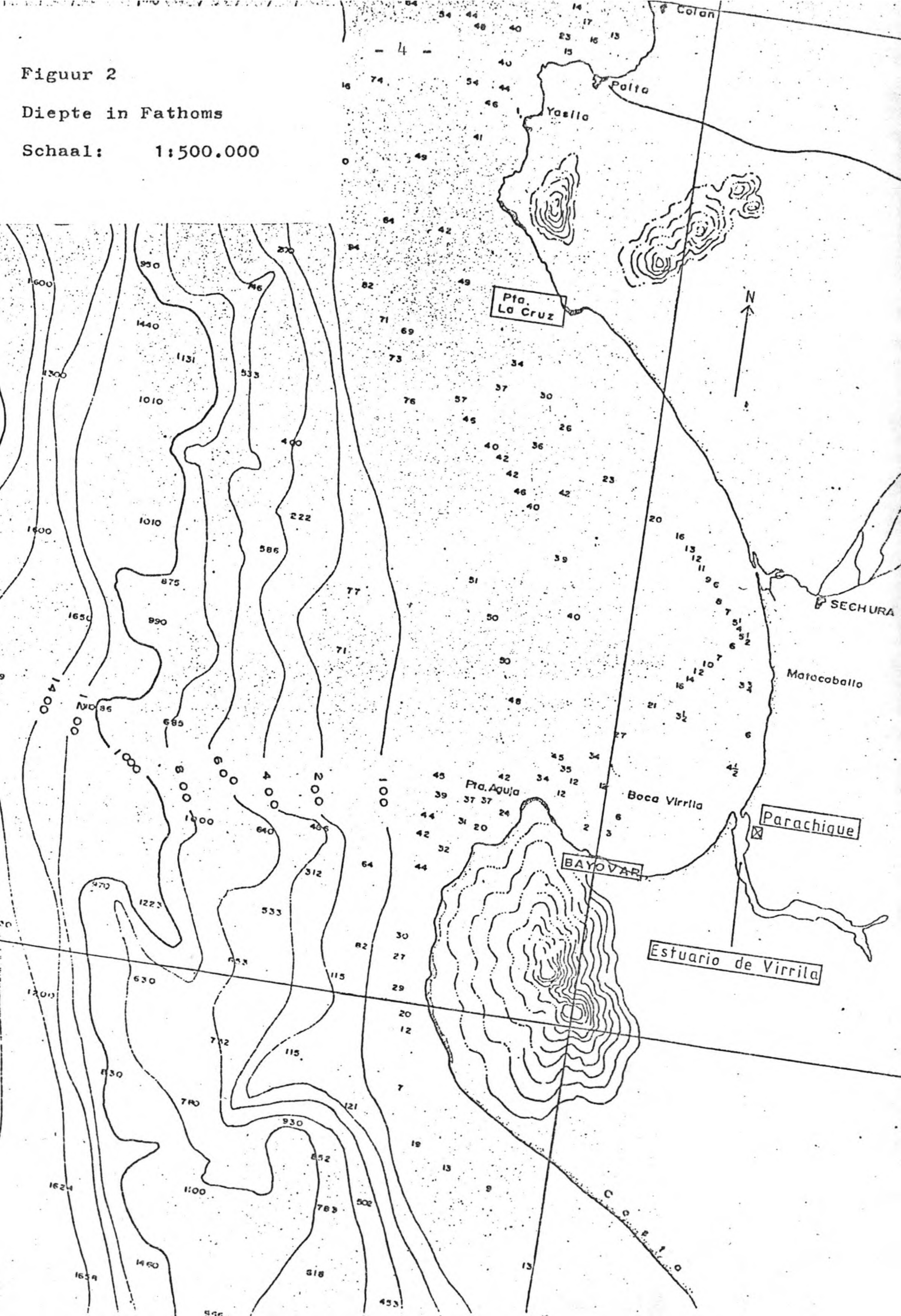


Figur 1

Figuur 2

Diepte in Fathoms

Schaal: 1:500.000



II METHODE VAN BIJKER

2.1 Toelichting Methode

Het berekenen van het zandtransport m.b.v. de methode van Bijker staat duidelijk en uitvoerig beschreven in het college-dictaat f11B. Hier wordt het principe van deze methode aangegeven en de gebruikte formules vermeld.

Het zandtransport wordt gesplitst in bodemtransport en suspensietransport. Eerst wordt het bodemtransport berekend en vervolgens het totaal aan bodem- en suspensietransport. Voor de bepaling van het bodemzandtransport maakt de methode gebruik van de Kalinske-Frijlink zandtransportformule voor stroming alleen (een andere zandtransportformule is ook mogelijk) en past deze aan in het geval dat ook golven aanwezig zijn. Dit wordt gedaan, door in de opwoelparameter van de Kalinske-Frijlink formule, de exponentiele term, het effect van de golven te verrekenen.

De in deze term voorkomende bodemschuifspanning, t.g.v. alleen stroming wordt vermenigvuldigd met een factor die afhankelijk is van de aanwezige golfcondities, zodat in de nieuwe bodemschuifspanning ook de invloed van de golven inbegrepen is.

De aldus verkregen Bijker-Kalinske-Frijlink formule ter bepaling van het bodemtransport onder invloed van stroming en golven, is hieronder weergegeven:

$$S_b = \frac{B \cdot D \cdot V \cdot \sqrt{g}}{C} \exp \left(\frac{-0,27 \cdot \Delta \cdot D \cdot C^2}{\mu \cdot V^2 \left(1 + \frac{1}{2} \left(\frac{u_b}{V}\right)^2\right)} \right) \quad (1)$$

B = coefficient

D = gemiddelde diameter van het sediment (=D₅₀)

V = snelheid, gemiddeld over de hoogte

g = zwaartekrachtversnelling

C = Chézy-factor

Δ = relatieve soortelijke dichtheid

μ = de "ribbel-factor"

ξ = coefficient

u_b = horizontale snelheidsamplitude van een golf op de bodem.

Voor de bepaling van het suspensietransport wordt uitgegaan van het principe voorgesteld door Einstein voor stroming alleen waarbij het Prandtl-Von Karman logaritmisch snelheidsprofiel wordt vermenigvuldigd met de vergelijking van de concentratieverdeling van Einstein. Door ook hier de invloed van de golven in de bodemschuifspanning te verdisconteren, zoals Bijker dat oorspronkelijk voorgesteld heeft, wordt de suspensietransportformule bruikbaar gemaakt voor een situatie van stroming en golven samen.

Het resultaat van dit alles is te zien in fig. 3. In deze figuur kan S_s/S_b , de verhouding van het suspensietransport tot het bodemtransport en S_t/S_b , de verhouding van het totaaltransport tot het bodemtransport, worden afgelezen als functie van A en Z_x die de volgende betekenis hebben.

$$A = r/h \quad (2)$$

r = bodemruwheidsfactor

h = waterdiepte

$$Z_x = \frac{W C}{\kappa v \sqrt{g(1 + \frac{1}{2}(\xi \frac{u_b}{v})^2)}} \quad (3)$$

W = valsnelheid zandkorrels in water

κ = constante van Von Karman

Het zandtransport in de brekerzone kan dus berekend worden door eerst het bodemtransport met formule (1) uit te rekenen en vervolgens m.b.v. (2) en (3) en fig. 3 het totale zandtransport. Natuurlijk moeten dan eerst alle voorkomende variabelen bekend zijn. De waarden die deze variabelen in Parachique hebben, worden in de volgende twee paragrafen besproken.

Values of Einstein integral factors (all items are dimensionless)

r/h	$Z_* = 0$			$Z_* = 0.20$			$Z_* = 0.40$			$Z_* = 0.60$			$Z_* = 0.80$			$Z_* = 1.00$		
	Q	S_s/S_b	S_t/S_b	Q	S_s/S_b	S_t/S_b	Q	S_s/S_b	S_t/S_b	Q	S_s/S_b	S_t/S_b	Q	S_s/S_b	S_t/S_b	Q	S_s/S_b	S_t/S_b
1×10^{-5}	3.03×10^5	5.54×10^5	5.54×10^5	3.28×10^4	6.00×10^4	6.00×10^4	3.88×10^3	7.10×10^3	7.10×10^3	527.	964.	965.	88.0	161.	162.	20.0	36.6	37.6
2×10^{-5}	1.44×10^5	2.63×10^5	2.63×10^5	1.79×10^4	3.27×10^4	3.27×10^4	2.43×10^3	4.44×10^3	4.44×10^3	377.	689.	690.	71.6	131.	132.	17.9	32.8	33.8
5×10^{-5}	5.36×10^4	9.80×10^4	9.80×10^4	7.98×10^3	1.46×10^4	1.46×10^4	1.30×10^3	2.37×10^3	2.37×10^3	239.	438.	439.	53.6	98.0	99.0	15.4	28.2	29.2
1×10^{-4}	2.53×10^4	4.63×10^4	4.63×10^4	4.32×10^3	7.90×10^3	7.90×10^3	803.	1.47×10^3	1.47×10^3	169.	310.	311.	42.7	78.2	79.2	13.6	24.9	25.9
2×10^{-4}	1.19×10^4	2.18×10^4	2.18×10^4	2.33×10^3	4.26×10^3	4.26×10^3	496.	907.	908.	119.	218.	219.	33.9	62.0	63.0	11.9	21.8	22.8
5×10^{-4}	4.36×10^3	7.98×10^3	7.98×10^3	1.02×10^3	1.87×10^3	1.87×10^3	260.	475.	476.	74.3	136.	137.	24.6	45.0	46.0	9.78	17.9	18.9
1×10^{-3}	2.03×10^3	3.72×10^3	3.72×10^3	545.	998.	999.	158.	290.	291.	51.2	93.7	94.7	19.1	34.9	35.9	8.36	15.3	16.3
2×10^{-3}	940.	1.72×10^3	1.72×10^3	289.	529.	530.	95.6	175.	176.	35.1	64.2	65.2	14.6	26.7	27.7	6.99	12.8	13.8
5×10^{-3}	336.	615.	616.	123.	226.	227.	48.5	88.7	89.7	20.8	38.1	39.1	10.0	18.3	19.3	5.38	9.84	10.8
0.01	153.	280.	281.	63.9	117.	118.	28.6	52.3	53.3	13.8	25.2	26.2	7.32	13.4	14.4	4.28	7.84	8.84
0.02	68.9	126.	127.	32.8	60.0	61.0	16.5	30.2	31.2	8.91	16.3	17.3	5.21	9.54	10.5	3.30	6.04	7.04
0.05	23.2	42.4	43.4	13.1	24.0	25.0	7.70	14.1	15.1	4.78	8.74	9.74	3.13	5.73	6.73	2.18	3.99	4.99
0.10	9.84	18.0	19.0	6.28	11.5	12.5	4.12	7.54	8.54	2.81	5.14	6.14	1.99	3.64	4.64	1.48	2.70	3.70
0.20	3.90	7.13	8.13	2.80	5.13	6.13	2.04	3.73	4.73	1.51	2.77	3.77	1.15	2.10	3.10	0.896	1.64	2.64
0.50	0.836	1.53	2.53	0.716	1.31	2.31	0.601	1.10	2.10	0.492	0.900	1.90	0.396	0.724	1.72	0.312	.571	1.57
1.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	1.00

2.2 Toelichting Stroomsnelheid

Met stroomsnelheid wordt hier de stroomsnelheid in de brandingzone bedoeld. In het deelontwerp "Brandingstroom bij Parachique" is, zoals de titel al doet vermoeden een brandingstroomberekening uitgevoerd voor de kust bij Parachique.

De berekeningen zijn uitgevoerd volgens de methode Bakker (1971), echter met een bodemschuifspanning zoals aangegeven in het collégedictaat f 11B.

De resultaten zijn vermeld in fig. 4. In deze figuur is per diepwatergolfsector van 10° de verdeling van de brandingstroomsnelheid over de brandingzone af te lezen; bovendien is de tijd van voorkomen gegeven. De in deze figuur vermelde hoek van diepwatergolfrichting is de gemiddelde hoek van de 10° sector en is positief van het zuiden, 0° , naar het westen, 90° .

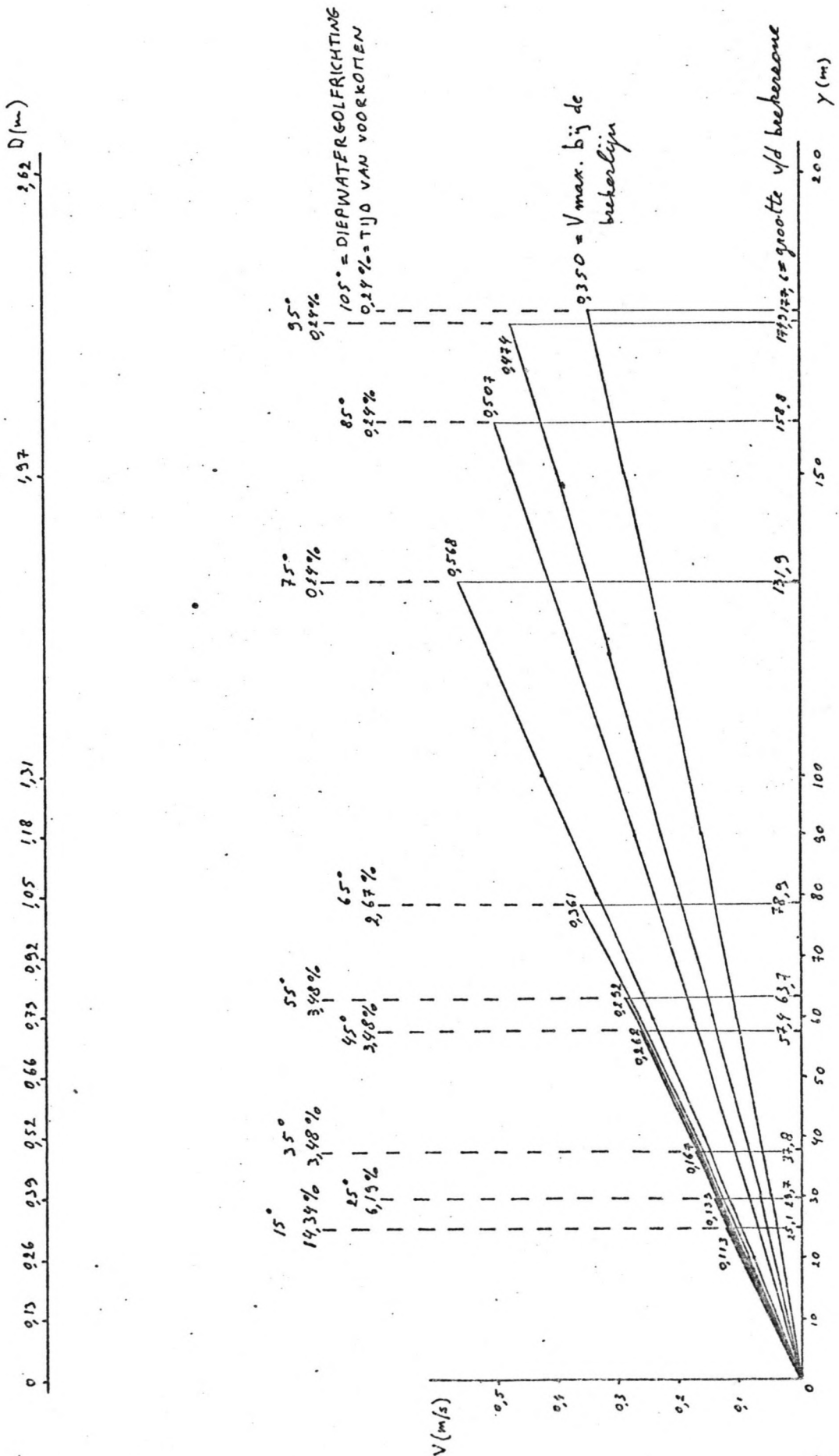
Deze brandingstroom is representatief voor het gebied bij Parachique, aangezien het berekend is met een golfhoogte H_s (50%). De golfhoogtegegevens zijn uitgezet op een Weibull schaal waarna de benodigde H_s (50%) is afgelezen. Omdat elke 10° sector andere kenmerkende golfhoogte gegevens heeft, heeft elke 10° sector een eigen Weibull-verdeling en dus een eigen H_s (50%). Deze Weibull-verdelingen zijn te vinden in bijlage A van "Brandingstroom bij Parachique".

Voor een zandtransportberekening is de H_s (50%) echter niet representatief. Het aantal golven hoger dan de H_s (50%) is gelijk aan het aantal golven lager dan de H_s (50%). De eerste categorie levert echter veel meer dan 50% aan het zandtransport.

Een hogere golf geeft het werkelijk zandtransport dus beter weer.

Een ander probleem vormt de vaststelling van de golfhoogte

Verdeling Brandingstroomsnelheid

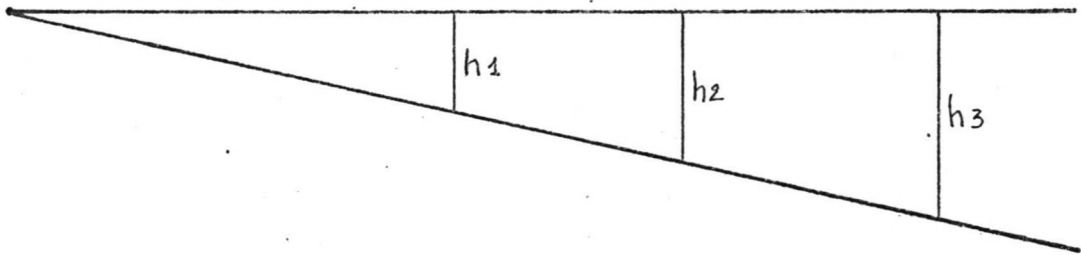
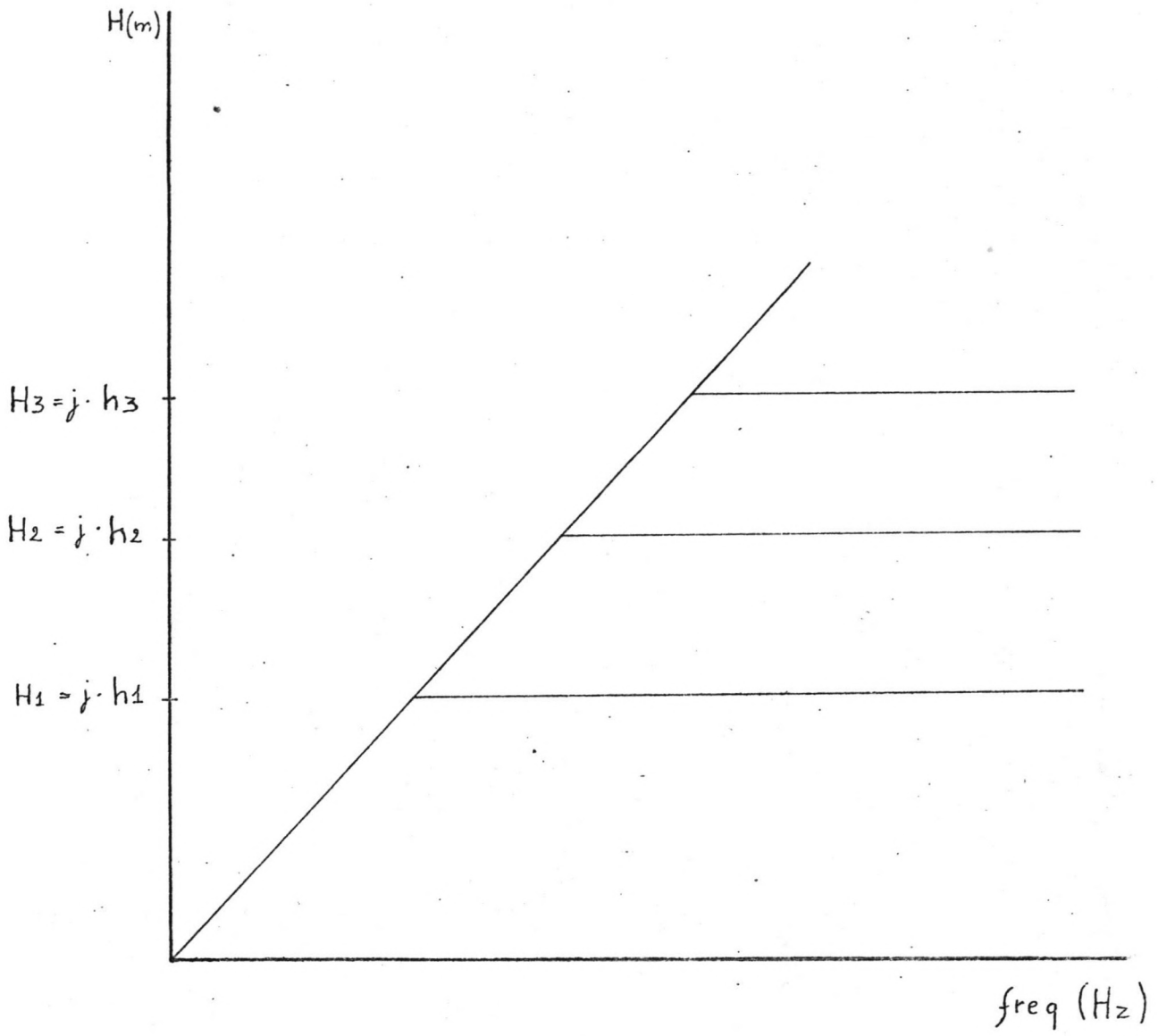


Figuur 4

in de brandingszone waarmee het zandtransport wordt berekend. In fig. 5 zijn enkele golfhoogteverdelingen gegeven op verschillende plaatsen in de brandingszone met diepten h_1 , h_2 en h_3 . Op een bepaalde plaats met diepte h is de maximale golfhoogte $H_{max} = j \cdot h$, waarin j de brekerindex is, die voor de gehele brandingszone als constant wordt verondersteld. Naast golven met een hoogte H_{max} komen op dezelfde plaats ook golven voor die nog niet zijn gebroken en dus lager zijn. Het aantal golven dat lager is dan de maximaal bestaانبare golf hangt af van de plaats en neemt met de diepte af in de richting van de kust. In het extreme geval bij de kustlijn hebben alle golven een hoogte $H_{max} = j \cdot h$, waarin h de waterdiepte bij de kustlijn is.

In de formule van Bijker wordt voor het berekenen van het zandtransport een bepaalde golfhoogte met een bepaalde golfperiode ingevoerd. In geval van een golfspectrum dient dit spectrum te worden opgesplitst in een aantal golfklassen, waarna voor elke golfklasse de bijdrage aan het zandtransport wordt uitgerekend. Deze procedure dient voor een aantal punten in de brandingszone te worden toegepast, waarbij dus als gevolg van het breken van de golven in elk punt van een ander spectrum moet worden uitgegaan.

In de praktijk wordt de bovenbeschreven procedure echter niet toegepast. In de eerste plaats zou deze erg bewerkelijk zijn omdat hij toegepast zou moeten worden voor alle golfklassen waarin het totale golfklimaat is opgesplitst. Ten tweede zou door de toepassing van de procedure een nauwkeurigheid van de resultaten worden gesuggereerd, die, gezien het gebrek aan kennis van de verandering van het golfspectrum in de brekerzone en de grote onnauwkeurigheden in de transportberekeningen zelf, in feite schijn is. Het is gebruikelijk dat voor de brandingszone de maximale golfhoogte $H_{max} = j \cdot h$ wordt ingevoerd, terwijl in feite de maatgevende golf een lagere waarde zou moeten hebben. Theoretisch zouden dus de berekende transporten een te hoge waarde hebben.



Figuur 5

Daar staat echter tegenover dat het gebruikelijk is de zee-
waartse grens van de brandingzone te leggen bij $h = H_{bs}/j$,
waarin H_{bs} de significante golfhoogte is in het brekerpunt.
Zeewaarts van dit punt zijn echter hogere golven in het
spectrum reeds gebroken, wat betekent dat hier ook zand-
transport optreedt. Dit wordt in de berekeningen vaak ver-
waarloosd, zoals ook in dit verslag het geval is.

De H_s heeft, net als de H , een stochastische verdeling. In
dit geval de al eerder genoemde Weibull verdeling. Om het ge-
middeld jaarlijks zandtransport te berekenen wordt gewoonlijk
deze verdeling in klassen verdeeld waarna voor elke klasse
afzonderlijk de bijdrage tot het totale zandtransport wordt
berekend.

B. Le Mehauté (1983) heeft aangetoond dat het de nauwkeurig-
heid van een sedimentberekening zeer ten goede komt, indien
de golfrichtingen verdeeld worden in klassen niet groter dan
 10° . Dit blijkt veel effectiever te zijn dan het in vele klas-
sen verdelen van de golfhoogten. Volgens B. Le Mehauté (1983)
"It can be concluded that even when the discretization of
wave height is relatively coarse, shore line evolution can be
investigated as long as the wave direction is constant,...".
Zodoende zijn de golfgegevens gepresenteerd in richtingsecto-
ren van 10° .

De Weibull verdeling wordt dan niet in klassen verdeeld, maar
er wordt een H_{eq} gekozen die representatief is voor het zand-
transport. Dit is te vergelijken met de H_s voor de H -verdeling.
In de empirisch bepaalde C.E.R.C.-formule: $S = A \cdot H_s^2 \cdot c \cdot k(\beta)$,
lijkt de golfhoogte op het eerste gezicht tot de tweede macht
voor te komen. Echter voor ondiep water is: $c = \sqrt{g \cdot h}$, en met:
 $h = H/j$, is het zandtransport evenredig met $H_s^{2\frac{1}{2}}$. Dit betekent
dat het zandtransport evenredig is met het geleverde vermogen
van de golven.

Voor de Bijker-formule heeft dit tot gevolg dat de branding-
stroomsnelheid die ingevoerd moet worden, bepaald moet zijn
met een equivalente golfhoogte waarvoor geldt:

$$Heq^{2\frac{1}{2}} = E(Hs^{2\frac{1}{2}}) \quad (4)$$

$$\text{Waarbij } E(Hs^{2\frac{1}{2}}) = \int_0^{\infty} Hs^{2\frac{1}{2}} \cdot f(Hs) \, dHs \quad (5)$$

$f(Hs)$ is de kansdichtheidsfunctie van de golfhoogteverdeling.

In bijlage A van het verslag "Brandingstroom bij Parachique" is te zien dat voor de golfhoogteverdeling de Weibull-verdeling gebruikt is.

De Weibull-verdeling heeft de volgende verdelingsfunctie:

$$P(H) : (H > H) = 1 - \exp\left(-\left(\frac{H-C}{A}\right)^B\right) \quad (6)$$

Doordat C , de zogenoemde drempelparameter nul is, anders zouden de uitgezette Weibull-verdelingen uit "Brandingstroom bij Parachique" geen rechte lijn zijn, blijven nog twee onbekenden, A en B , over. Deze kunnen eenvoudig bepaald worden, en zijn verschillend per 10^0 richtingsector, omdat elke sector een iets andere Weibull-verdeling heeft.

In bijlage A, van dit verslag, staat per 10^0 richtingsector de waarde van A en B voor de bijbehorende Weibull-verdeling.

Wanneer de verdelingsfunctie bekend is, A en B , is ook de bijbehorende kansdichtheidfunctie bekend:

$$f(H) : \frac{B}{A} \cdot \left(\frac{H}{A}\right)^{B-1} \cdot \exp\left(-\left(\frac{H}{A}\right)^B\right) \quad (7)$$

Uiteindelijk kan dan de Heq bepaald worden door (7) in (5) in te vullen en vervolgens (4) te berekenen. De integraal kan daarna met behulp van een eenvoudig programmeerbare rekenmachine en bv. de repeterende trapezium-regel berekend worden. Voor de bovengrens van de integraal kan dan in plaats van ∞ een waarde van $10 \times Hs$ (50%) genomen worden en voor dH een waarde van $0,1 \times Hs$ (50%). Met enig geduld, afhankelijk van de rekensnelheid van het rekenmachientje, wordt een voldoende nauwkeurige waarde verkregen van Heq .

De met de Heq berekende brandingstroom zal een zelfde verdeling hebben als die van fig. 4 en dus een driehoek vorm hebben. Dit hangt samen met de gekozen methode Bakker,

nader toegelicht in eerder genoemd verslag. Hoewel de verdeling niet geheel conform de werkelijkheid is, zijn de resultaten betrouwbaar genoeg om het totale zandtransport te berekenen (zie dictaat f 11B).

Wat men niet krijgt is een juiste verdeling van het zandtransport over de brekerzone, maar hierop wordt in paragraaf 2.4 teruggekomen.

In bijlage A van dit rapport wordt per golfsector van 10° de stroomsnelheid gegeven op verschillende diepten, berekend volgens de methode beschreven in "Brandingstroom bij Parachique".

2.3 Toelichting Andere Variabelen

Bij het gebruik van de formules (1), (2) en (3) en fig. 3 komen verschillende variabelen voor die voor de situatie bij Parachique de volgende waarde hebben:

- B : coefficient

In het collegedictaat f11B wordt voor zandtransportberekeningen binnen de brandingzone voor B een waarde van 5 aangeraden. Deze waarde is ook hier aangehouden.

- g : zwaartekrachtversnelling
g wordt hier gesteld op $9,8 \text{ m/s}^2$.

- C : Chezy-factor

In "Estudio Portuario Parachique" en "Improvement study for the Parachique inlet" wordt voor C een constante waarde geschat van $50 \text{ m}^{\frac{1}{2}}/\text{s}$ over de gehele brekerzone. Hier wordt voor waterdieptes kleiner dan 0,7 m, C geschat op $40 \text{ m}^{\frac{1}{2}}/\text{s}$ en voor grotere waterdieptes wordt de volgende formule aangehouden:

$$C = 18 \log \frac{12h}{r}$$

- r : bodemruwheidsfactor

r is een maat voor de ruwheid van de bodem. In "Improvement study for the Parachique inlet" wordt voor r een constante waarde geschat van 0,04 m over de gehele brekerzone. Hier wordt voor waterdieptes groter dan 0,7 m, r geschat op 0,05 m en voor kleinere waterdieptes wordt de volgende formule aangehouden:

$$r = \frac{12 h}{10 C/18} \quad , \text{ met } C = 40 \text{ m}^{\frac{1}{2}}/\text{s}$$

- h : waterdiepte

h varieert van 0 tot de brekerdiepte hbr. Deze laatste wordt bepaald door Heq van de vorige paragraaf gelijk te stellen aan de brekergolfhoogte Hbr, waarna volgt:

$$hbr = Hbr/j$$

- ub : horizontale snelheidsamplitude van een golf op de bodem

Met ondiepwatervereenvoudigingen is ub:

$$ub = \frac{j}{2} \sqrt{g \cdot h}$$

- j : brekerparameter

Dit is de verhouding van de golfhoogte tot de waterdiepte bij de brekerlijn. Rekening houdend met de golfperiode en het talud van het strand, is j hier gesteld op 0,85.

- ξ : bodemschuifspanningparameter

is een combinatie van enige parameters tesamen:

$$\xi = C \sqrt{fw} / \sqrt{2g}$$

- fw : bodemschuifspanning coefficient t.g.v. golven

In het collegedictaat f11B wordt de volgende relatie voor fw gegeven:

$$fw = \exp(-5,977 + 5,213 \left(\frac{ab}{r}\right)^{-0,194})$$

- ab : horizontale amplitude van een golf op de bodem

Met ondiepwater vereenvoudigingen is:

$$ab = ub \cdot T / 2\pi$$

- T : golfperiode

De golfperiode waarvoor de brandingstroomberekeningen in het deelontwerp "Brandingstroom bij Parachique" gemaakt zijn, is 14 s. Deze periode is ook hier aangehouden voor de sedimentberekening.

- D_{50} : gemiddeld diameter sediment

In "Estudio Portuario Parachique" zijn twee zeefkrommen gegeven van het zand bij de inham, zie fig. 6. Zeefkromme A is gemaakt van sediment iets ten zuiden van de inham en zeefkromme B is van sediment iets ten noorden van de inham. Uit deze zeefkrommen wordt voor $D_{50} = 0,150$ mm afgelezen.

- μ : ribbel-factor

Voor μ geldt de volgende empirische relatie:

$$\mu = \left(\frac{C}{C'}\right)^{3/2}$$

- C' : bodemschuifspanning coefficient

Dit is een soort Chezy-coefficient gebaseerd op de materiaal eigenschappen.

$$C' = 18 \log \frac{12h}{D_{90}}$$

- D_{90} : 90 gewichtsprocent van de zanddeeltjes heeft een diameter kleiner dan D_{90}

De D_{90} wordt afgelezen uit fig. 6. $D_{90} = 0,215$ mm

- Δ : relatieve soortelijke dichtheid

Dit is gedefinieerd als:

$$\Delta = \frac{\rho_s - \rho}{\rho}$$

met ρ_s = soortelijke dichtheid materiaal (2650 kg/m³)

ρ = soortelijke dichtheid water (1010 kg/m³)

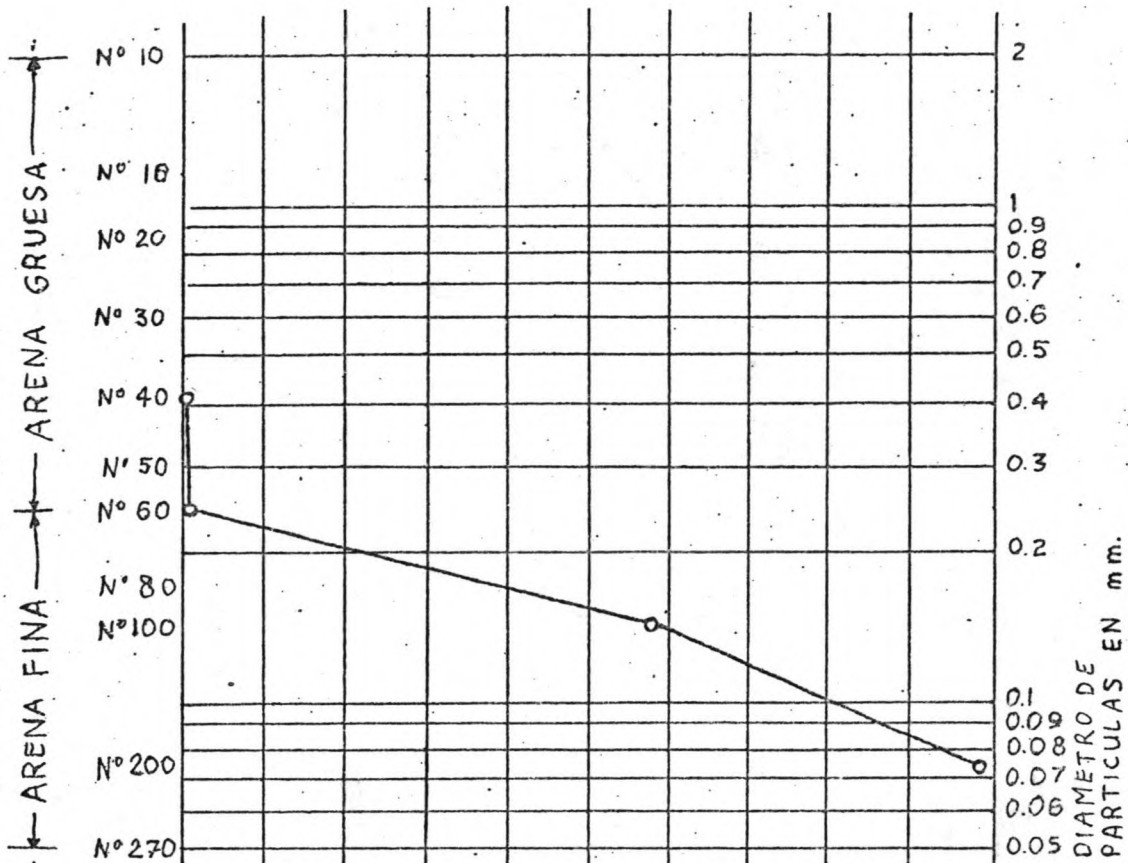
Δ wordt dan 1,62

- κ : konstante van Von Karman

$$\kappa = 0,4$$

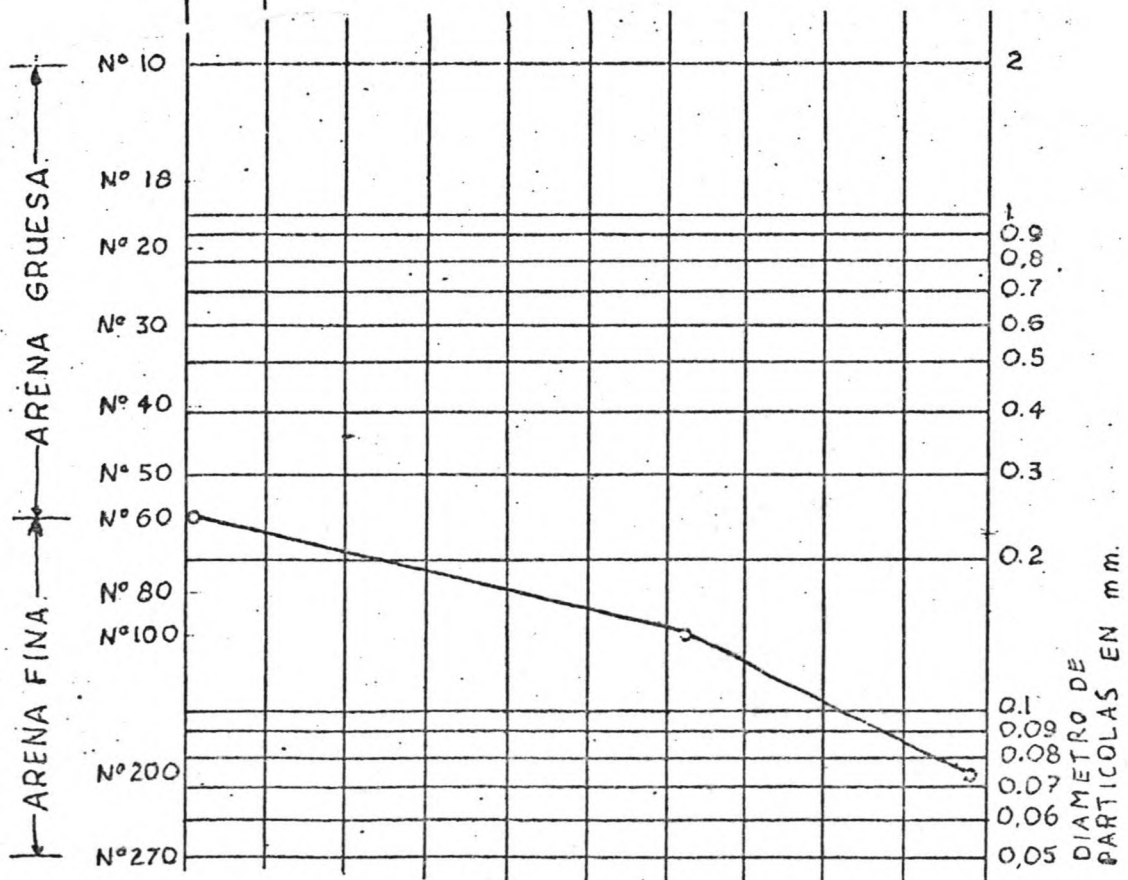
B

"NORTE" DE LA BOCANA



A

"SUR" DE LA BOCANA



Figur 6

- W : valsnelheid sediment in water

Voor W wordt de volgende empirische relatie aangehouden, uit het collegedictaat f11B, voor zuiver water van 18°C:

$$\log \frac{1}{W} = 0,4949 (D_{50})^2 + 2,4113 \log (D_{50}) + 3,7394$$

Met een D_{50} van 0,15 mm, is $W = 0,0176$ m/s.

2.4 Resultaten

Nu alle variabelen bekend zijn, kunnen de zandtransportberekeningen uitgevoerd worden. Eerst wordt de brandingstroomsnelheid berekend op precies dezelfde wijze als aangegeven in het verslag "Brandingstroom bij Parachique". Vervolgens worden de eigenlijke zandtransportberekeningen uitgevoerd aan de hand van de formules in paragraaf 2.1. De berekeningen zelf zijn verzameld in de bijlage A. Per diepwatersector is hierbij de bijdrage uitgerekend tot het zandtransport.

Indien we alle bijdragen bij elkaar optellen komen we tot een totaal zandtransport per jaar van ruim 90.000 m³.

De nauwkeurigheid van deze zandtransportberekeningen hangt uiteraard af van de nauwkeurigheid van de gebruikte gegevens en van de invloed die deze gegevens op de uiteindelijke uitkomst hebben.

De grootste invloed op het sedimenttransport hebben natuurlijk de golfrandvoorwaarden, en met name de golfhoogten. Deze zijn genomen uit het verslag "Brandingstroom bij Parachique" alwaar deze golfrandvoorwaarden zo nauwkeurig mogelijk bepaald zijn.

Uit het collegedictaat f11B blijkt verder dat de sedimentgegevens een grote invloed op het zandtransport hebben. In het rapport "Estudio Portuario Parachique" zijn twee zeefkrommen gegeven van het sediment ter plaatse, zie fig. 6. Deze twee zeefkrommen komen zeer goed met elkaar overeen, wat een zeker vertrouwen geeft

voor de juistheid ervan.

Twee andere variabelen die een redelijke invloed hebben op zandtransportberekeningen, C en r, zijn spijtig genoeg niet goed bekend. Hier is voor zo realistisch mogelijke waarden gekozen.

Dat is ook zo gedaan bij andere onbekende variabelen; die zijn zo goed mogelijk geschat, rekening houdende met de situatie bij Parachique.

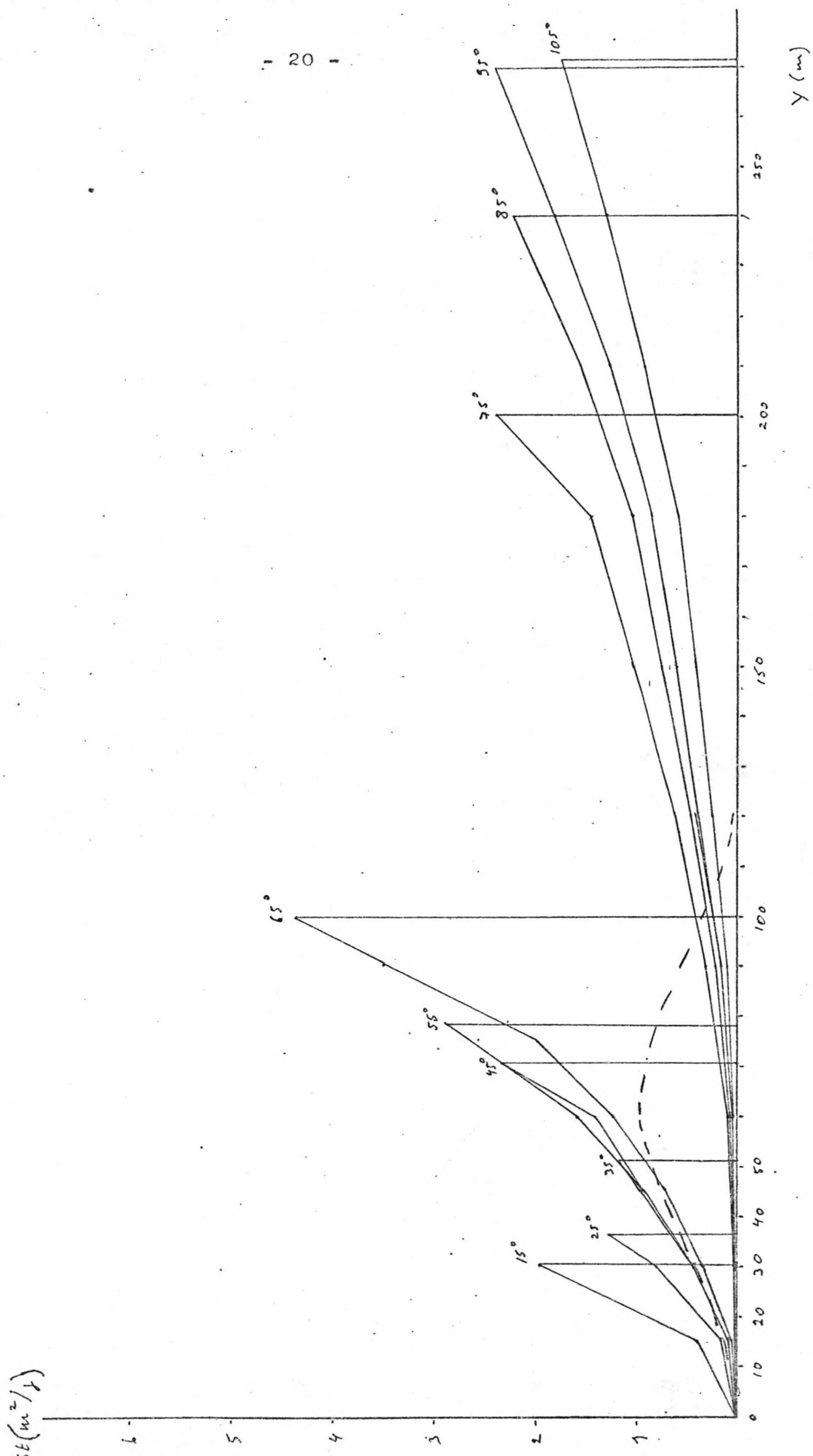
Nog opgemerkt wordt dat de helling van het strand, die voorkomt in de berekening van de brandingstroomsnelheid sterk varieert langs de kust. Maar, hoewel de helling invloed heeft op de verdeling van de brandingstroomsnelheid over de brekerzone, is het totale zandtransport vrijwel onafhankelijk van de helling. Dit komt doordat bij een flauwere helling de brandingszone weliswaar breder is dan bij een steilere helling, maar de bijbehorende brandings-troom stroom weer zwakker is. Zodoende is het totale zandtransport vrijwel onafhankelijk van de helling.

Overigens bestaan er ook twijfels aan de juistheid van de formule van Bijker, met name wat betreft de berekeningsmethode van het suspensietransport. Er zijn aanwijzigingen dat het suspensietransport wel eens kleiner zou kunnen zijn dan wordt berekend, voornamelijk bij de grotere waterdiepten.

Bovendien staat de waarde van de factor B ter discussie. Vaak wordt ook een lagere waarde aangehouden.

Samenvattend kan worden gezegd dat de hier berekende waarde van $90.000 \text{ m}^3/\text{jaar}$ vermoedelijk een vrij hoge schatting is van het zandtransport dat aan de kust bij Parachique optreedt.

Hoewel we in principe niet geïnteresseerd zijn in de verdeling van het zandtransport over de brekerzone, is het altijd interessant om er toch eens naar te kijken. Hiertoe is fig. 7 samengesteld.



1 20 1

Figuur 7

In deze figuur zijn de zandtransporten van de verschillende diepwatergolfsektoren langs de brekerzone gegeven. De pieken zijn ontstaan door de gehanteerde schematisatie van de brandingstroomsnelheid. In werkelijkheid is het zandtransport veel afgevlakter en uitgestrekter. Als voorbeeld is in dezelfde figuur, voor het zandtransport met een hoek van golfinval van 45° , een realistische verdeling gegeven als de onderbroken lijn. Deze lijn is met de hand getrokken, rekening houdend met verschillende voorbeelden uit de praktijk en uit het onderwijs (dictaat f11B). Te zien is dat dan de top van het zandtransport ruwweg de helft is van het driehoeksprofiel, de plaats ervan iets links van de brekerlijn is en op een afstand van ongeveer 1,6 maal de brekerlijn het zandtransport vrijwel nihil is.

III SPIRAALKUSTEN

3.1 Algemeen

De baai waar de Virrila inham aan ligt, de Enseada de Sechura, heeft bij benadering de vorm van een spiraal. Zo'n spiraalvormige kustlijn tendeert naar een evenwichtsligging die ontstaat onder de volgende voorwaarden.

- a Vast, niet erodeerbaar punt aan de kust.
- b Langs dit punt is er weinig tot geen zandtransport.
- c Na dit punt moet een erodeerbare kust aanwezig zijn.
- d Overheersende golfval vanuit een bepaalde hoek.

Al deze voorwaarden kunnen teruggevonden worden in de Enseada de Sechura.

- a Het vaste niet erodeerbaar punt is hier Bayovar die rotsachtig is.
- b Ten zuiden van Bayovar, zie hiervoor de bovenste kaart van fig.1, maakt de kustlijn een grote bocht en neemt de diepte dicht bij de kust zeer sterk toe. Het is dan aannemelijk dat een groot deel van het zandtransport voor Bayovar naar dieper water verdwijnt.
- c De omgeving van Parachique is geheel van loskorrelig materiaal en kan dus naar believen door de zee geërodeerd worden.
- d De golfrichtingen die in dit gebied voorkomen en tegelijkertijd de baai kunnen bereiken zijn Z-ZW. Het grootste deel van de golven in het zeegebied zijn weliswaar afkomstig uit de richting Z-ZO maar deze kunnen niet in de baai komen.

Hoewel punt b zegt dat er weinig tot geen zandtransport langs Bayovar is, is het niet waarschijnlijk dat al het zandtransport ten zuiden van Bayovar in de oceaan verdwijnt, maar het is te verwachten dat een gedeelte (voornamelijk van het suspensietransport) via eb- en vloedstromingen en de daar aanwezige Humbold oceaanstrooming

in de baai terecht komt.

Silvester (1972) laat zien hoe dit sediment over de baai verspreid zou kunnen worden en aan de kust terecht komt, alwaar het opgepakt wordt door de brandingstroom die het weer verder voert, fig.8.

Dit betekent dat langs de kust van de baai zandtransport aanwezig zal zijn.

Er is echter nog een reden waarom er zandtransport kan zijn.

Zoals gezegd zal bij geheel ontbreken van sedimenttransport langs Bayovar de baai eroderen. Bij "voldoende" toevoer van sediment zal de baai niet ontstaan maar zal de kustlijn recht blijven tussen de twee niet erodeerbare punten. Voldoende sediment betekent hier dus even groot als de zandtransportcapaciteit van de rechte kust.

Indien de baai erodeert, omdat er minder dan "voldoende" of zelfs geheel geen sedimenttransport langs Bayovar is, dan zal tijdens dit uitschuurproces zandtransport optreden langs de kust van de baai.

3.2 Erosieproces

Vichetpan (1971) heeft proeven gedaan over de ontwikkeling van spiraalvormige kusten in de tijd, zie fig.9.

Wat er gebeurt is het volgende. Door de aanwezigheid van golven is een bepaalde zandtransportcapaciteit aanwezig. Aangezien er geen toevoer van zand is, zal de kust eroderen om aan de zandtransportcapaciteit te voldoen. Bij dit erosieproces is te zien dat er een baai ontstaat in de vorm van een spiraal waarbij de spiraalvorm vrij snel ontstaat en deze zich verder ontwikkelt.

Op dit punt aangekomen zijn er twee mogelijkheden. De erodeerbare kust gaat tot het oneindige door of op een bepaalde plaats aan de kust is weer een niet erodeerbaar punt zoals dat voor de situatie bij Parachique het geval

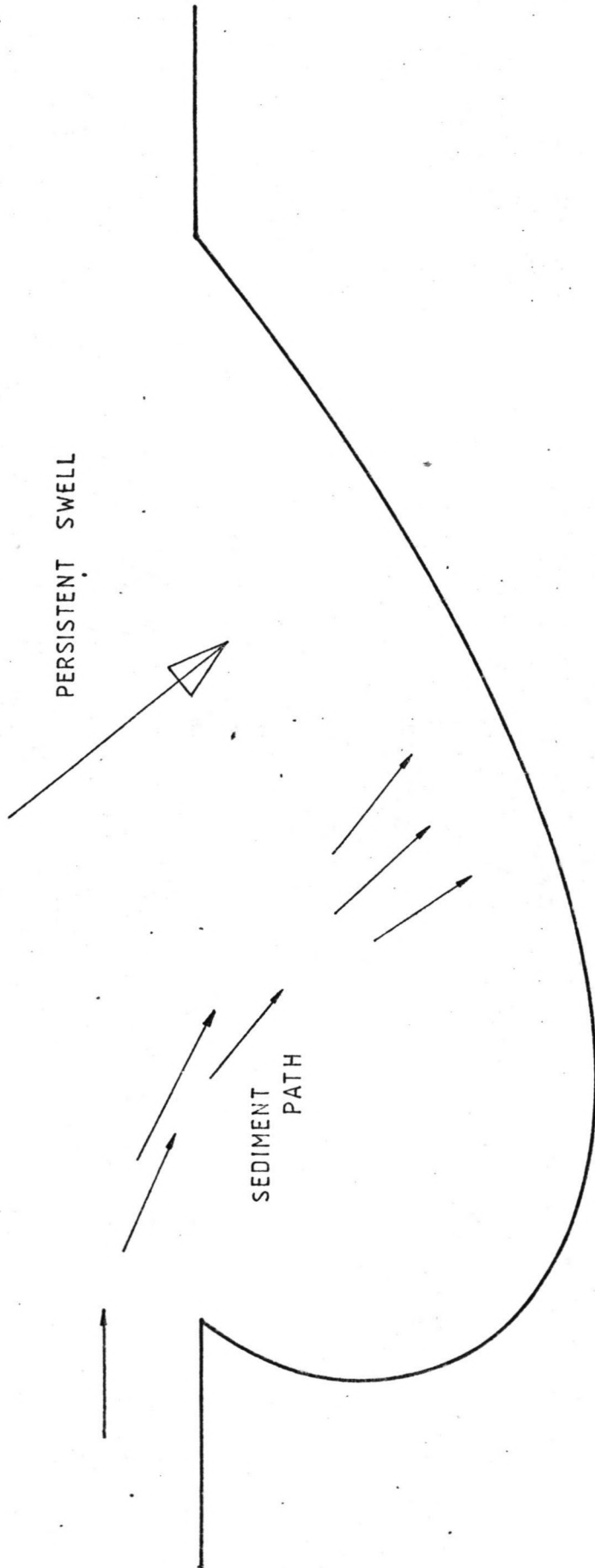
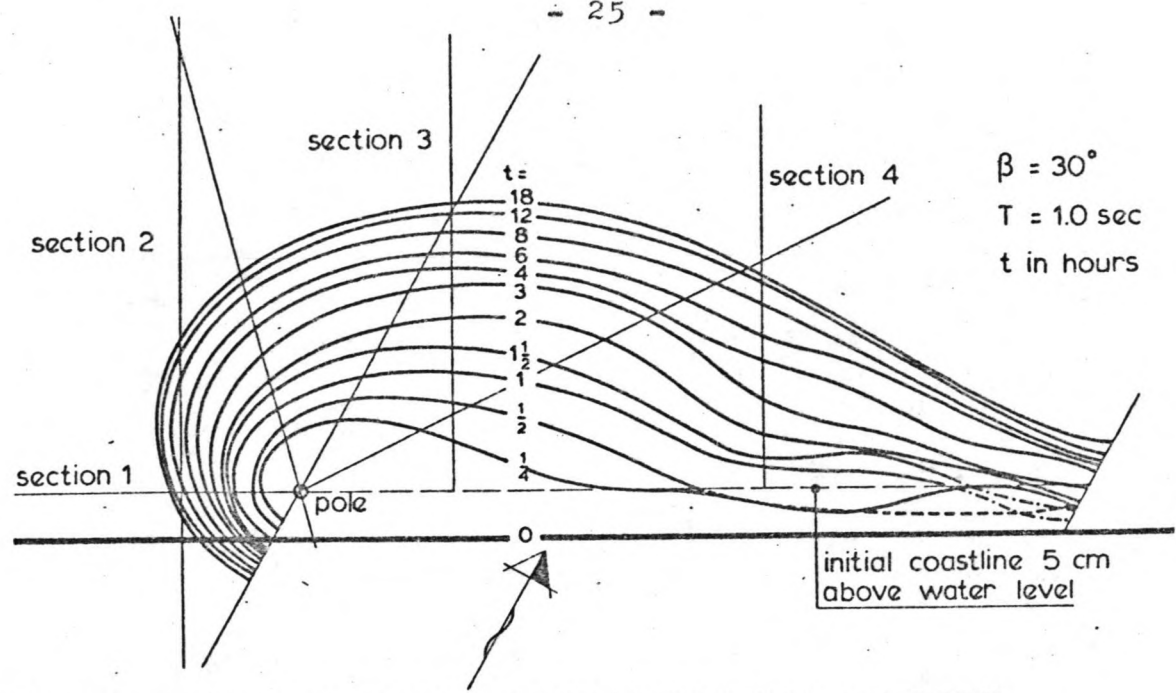
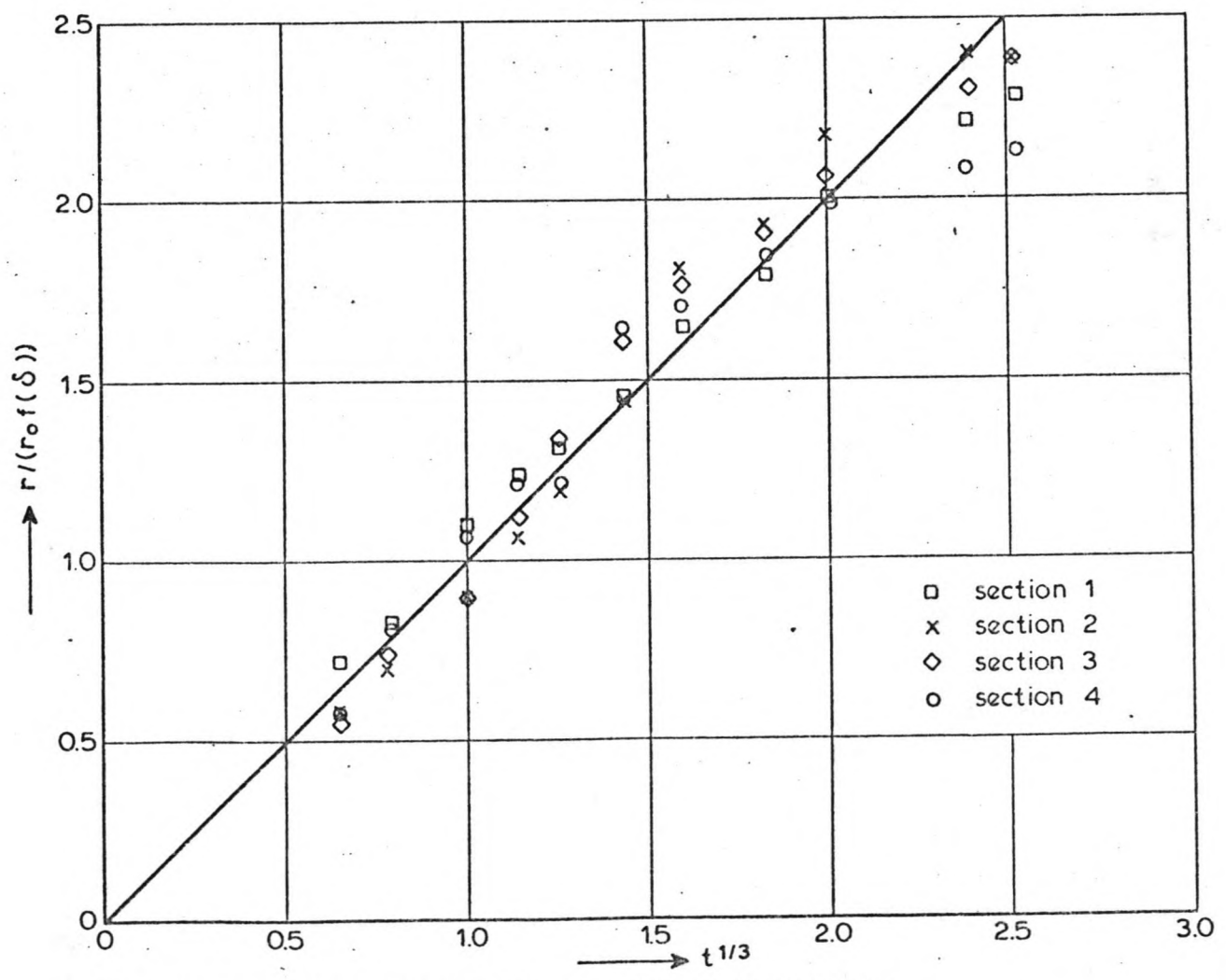


Figure 8



(a) EVOLUTION IN TIME OF A SPIRAL BEACH (Vichetpan (1971))



(b) THEORETICAL EVALUATION OF THE TIMEFUNCTION

r = radius at time t
 r_0 = radius at time $t=t_0$

is en te herkennen is in Pta La Cruz.

Voor dit laatste geval heeft Silvester (1974) het volgende gesteld.

De baai zal eroderen totdat een uiterste evenwichtsvorm bereikt is. Hierbij zal de lange hoek van de spiraal (λ in fig.10) direkt bij aanvang loodrecht op de overheersende golfrichting staan en de evenwichtsvorm die uiteindelijk bereikt wordt is een zuivere spiraal. In de praktijk kan dan volgens Silvester gecontroleerd worden of een prototype baai de uiterste vorm bereikt heeft door een zuivere spiraal door de kustlijn te passen. Aan de hand van de hieruit verkregen gegevens heeft Silvester een methode aangegeven om te bepalen in welk stadium de baai zich bevindt.

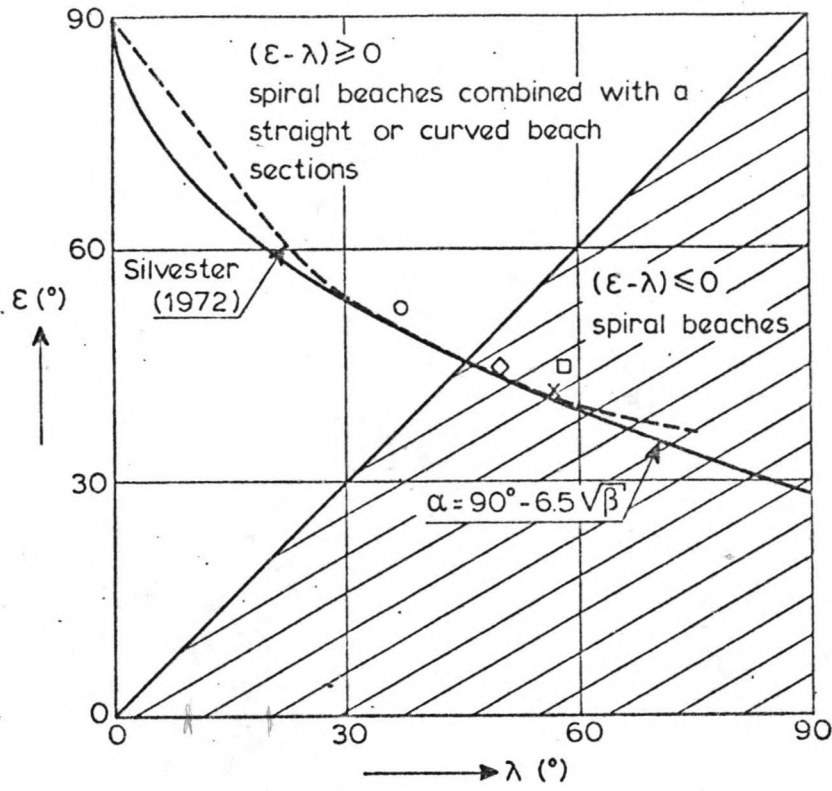
Daarbij wordt uit de spiralen van fig.11 gekozen welke het best bij de kustlijn past. Van de gekozen spiraal wordt de spiraalconstante berekend uit de vergelijking van de logaritmische spiraal:

$$R2/R1 = \exp(\theta \cot \alpha)$$

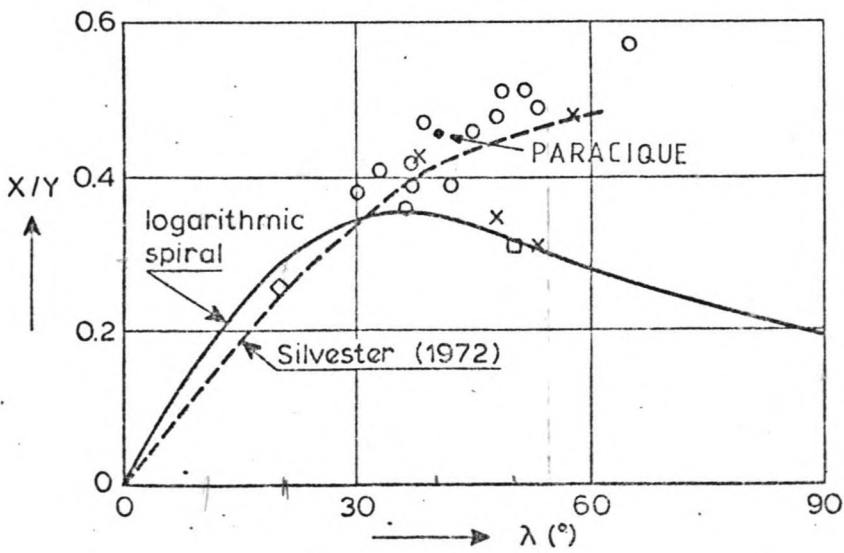
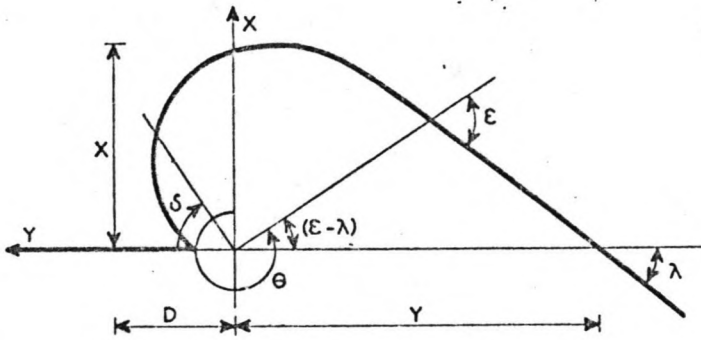
Vervolgens wordt de hoek van de overheersende golfrichting, β , bepaald. Deze is gelijk aan λ zodat slechts deze op een kaart afgelezen behoeft te worden.

De spiraalvormige kust is dan met twee parameters, α en β , gekarakteriseerd en kan in fig.12 geplaatst worden. De lijn in deze figuur geeft de combinaties van α en β waarbij de kust de uiterste vorm bereikt heeft. Het is niet mogelijk dat een baai onder deze lijn terechtkomt want dat zou betekenen dat de baai verder dan zijn uiterste vorm geerodeerd is. Indien een baai boven de lijn terechtkomt, dan is de uiterste vorm nog niet bereikt en kan de baai in principe verder eroderen.

Door het proberenderwijs passen van de spiralen aan de baai is de methode van Silvester subjectief en kan bij verschillende gebruikers verschillende antwoorden geven

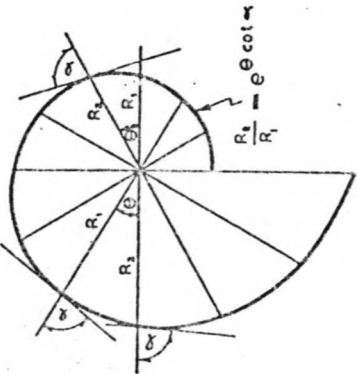


- x Port Eyre
- o Anderson Bay
- D'Estree Bay
- ◇ St. Francis Bay



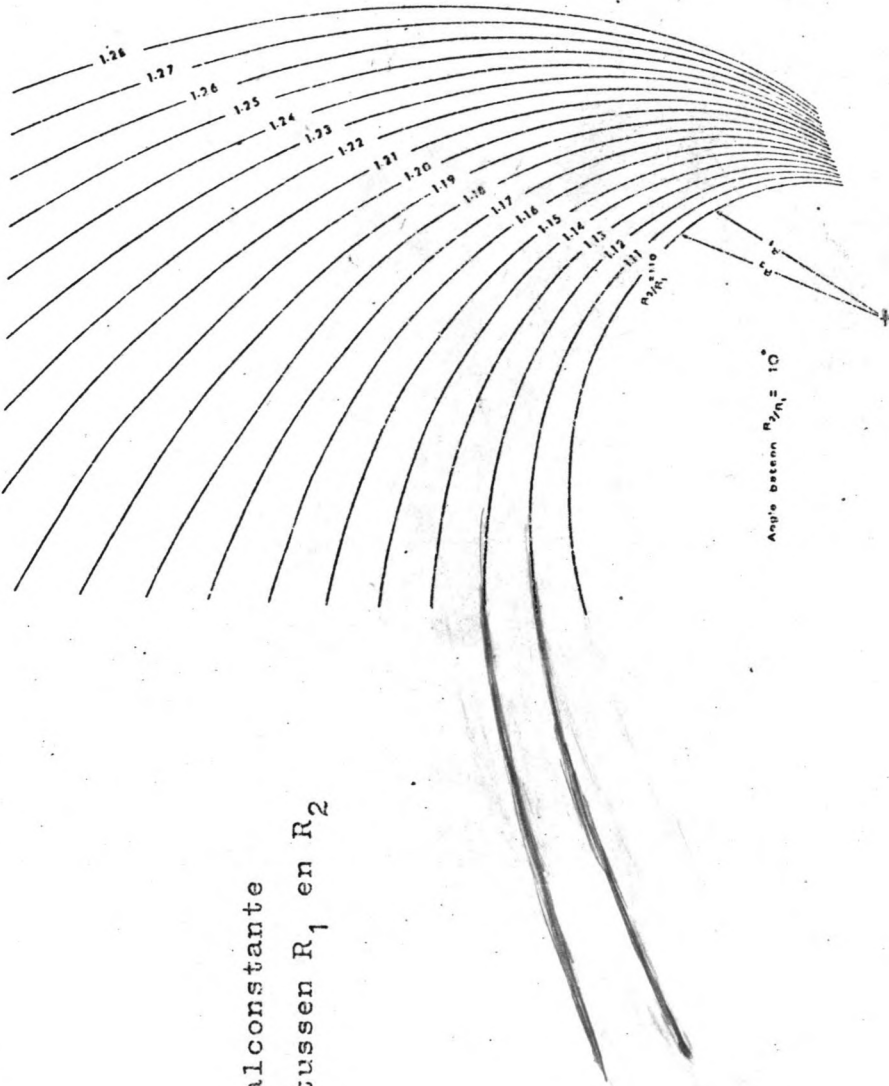
- x prototype bays
- typical bay
- ◇ Bedock Singapore
- o experimental data

Figuur 10

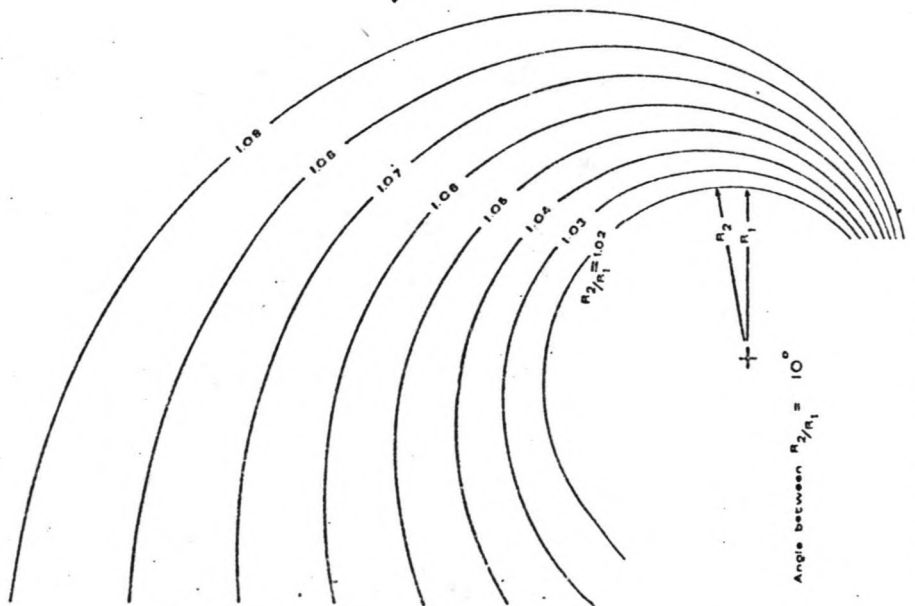


α = spiraalconstante
 θ = hoek tussen R_1 en R_2

Definition sketch of logarithmic spiral.

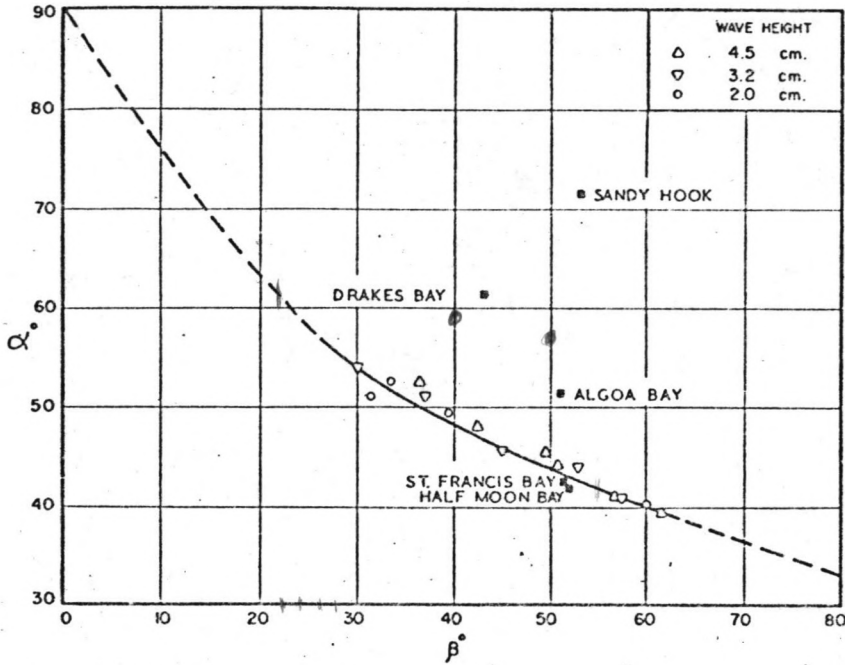


Logarithmic spirals for $R_2/R_1 = 1.10-1.28$.



Logarithmic spirals for $R_2/R_1 = 1.02-1.09$.

Figuur 11



Spiral constant α versus approach angle β .

Figuur 12

voor dezelfde situatie. Wind (1982) heeft de methode van Silvester grafisch weergegeven en uitgebreid.

Er wordt dan uitgegaan van fig.13. Ook hier zijn er twee parameters nodig om de baai te beschrijven, λ en R_0+Y .

λ is weer de lange hoek (zie de figuur) oftewel de hoek van golfinval en R_0+Y is de overspanning van de baai.

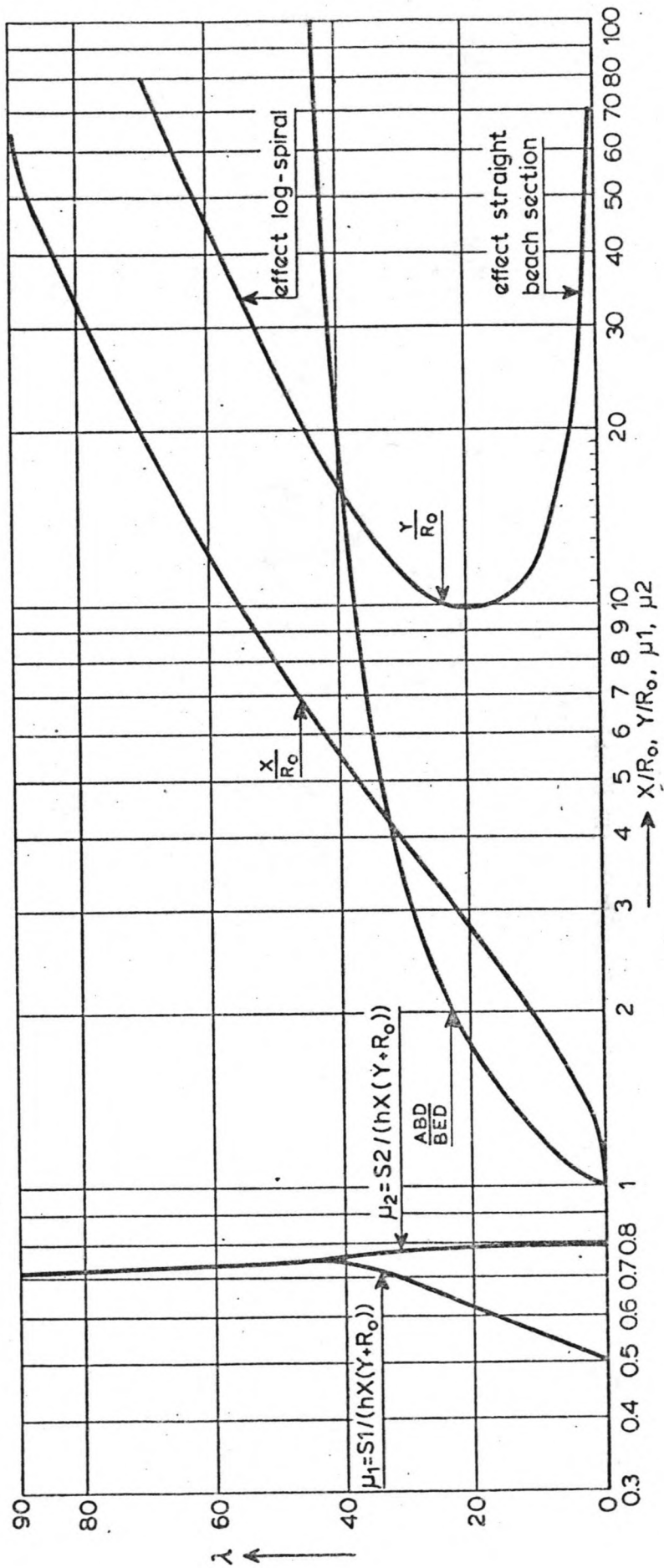
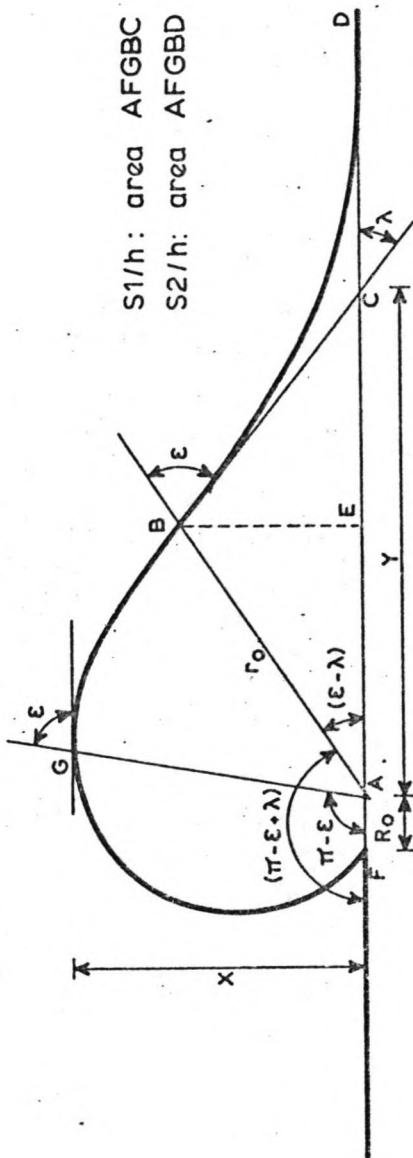
Beiden kunnen op een kaart opgemeten worden. Met behulp van de λ wordt eerst in de figuur Y/R_0 en X/R_0 afgelezen waarna samen met R_0+Y achtereenvolgens Y , R_0 en X (de erosiediepte) berekend kan worden. Met deze methode heeft men dus meteen de uiterste erosiediepte en bovendien hoeft de baai niet uitsluitend de vorm van een spiraal te hebben, maar kan ook van de vorm AFGBD in fig.13 zijn. Deze vorm ontstaat in het al eerder genoemd geval dat de erodeerbare kust tot het oneindige doorloopt (en er dus geen tweede niet erodeerbaar punt is). Te zien is dat na de spiraalvorm de kustlijn zich ontwikkelt volgens Pelnard-Considerere.

In de hypothese van Silvester is een tegenstrijdigheid aanwezig. Hij zegt dat de lange hoek van de spiraal (λ) direkt bij aanvang van het erosieproces loodrecht op de overheersende golfrichting staat. Echter in dat geval zou er hier geen zandtransport meer zijn en dus geen erosie van de baai. De hoek λ kan dus, zolang de baai erodeert, nooit een waarde hebben waarbij de overheersende golfrichting loodrecht op de kust staat.

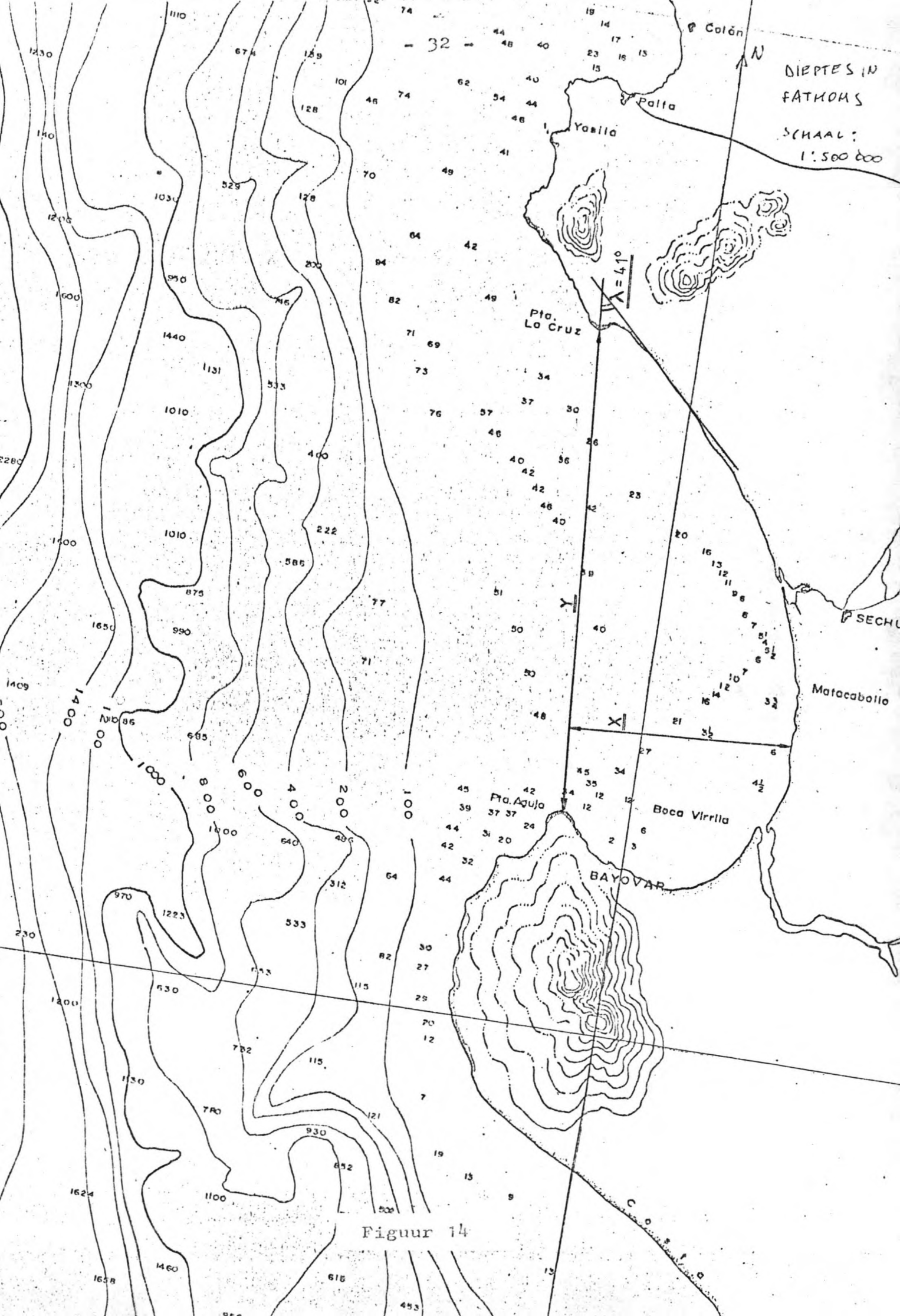
Wind laat onder in fig.10 zien dat de benadering met een zuivere logaritmische spiraal slechts opgaat bij baaien met een hoek λ kleiner dan 30° . Hij heeft de exacte evenwichtsvorm afgeleid, maar deze is nogal gecompliceerd en niet eenvoudig hanteerbaar.

In de baai van Parachique is $\lambda = 41^\circ$ (zie fig.14) en dus groter dan 30° en kunnen de zojuist beschreven methoden dus niet toegepast worden. Dat blijkt ook uit fig.10.

Als we de X en Y uit fig.14 opmeten (bij benadering is



Figuur 13



DIPTES IN
FATHOMS
SCHAAL:
1:500 000

Figuur 14

Y hier de hele overspanning, dus $Y \gg R_0$) dan is:

$X = 24,5$ km

$Y = 53,0$ km

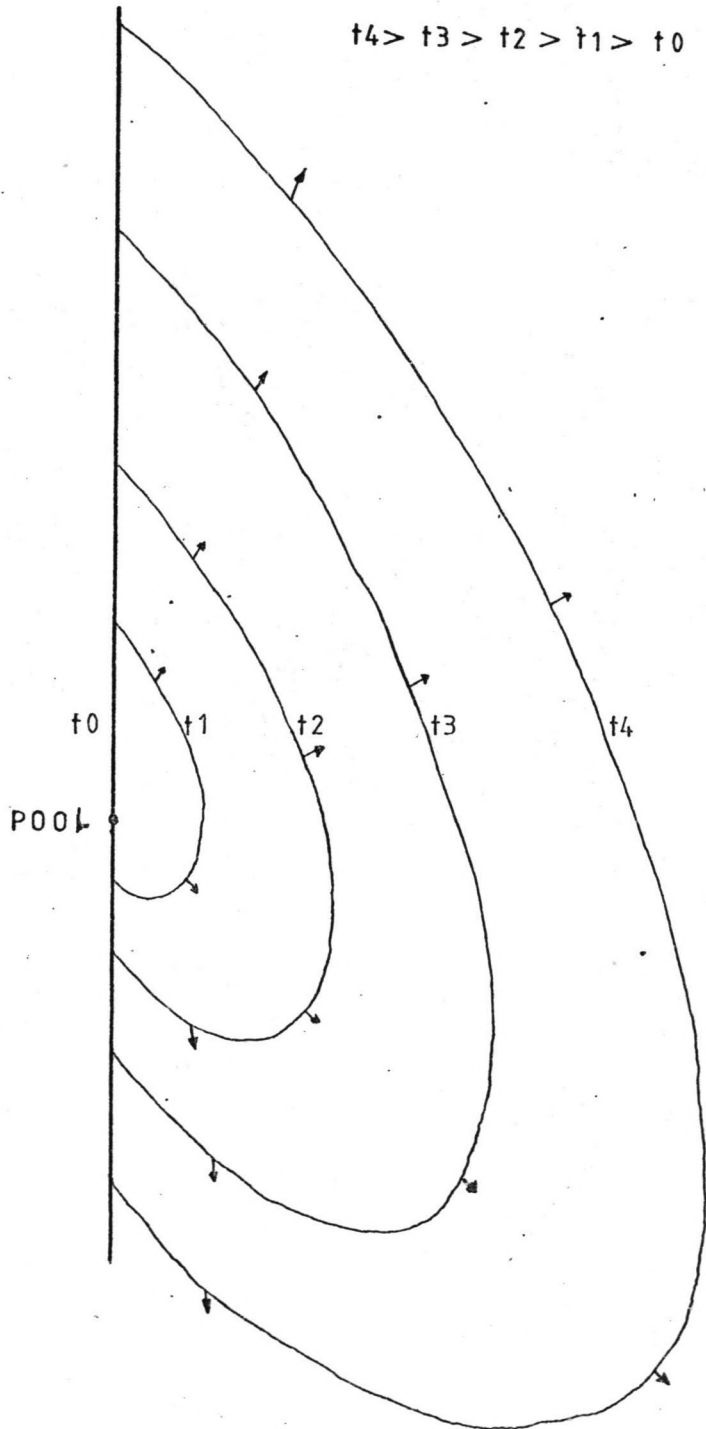
en $X/Y = 0,46$.

Indien we nu de baai in fig.10 inpassen, blijkt de baai inderdaad nogal af te wijken van de zuivere spiraalvorm en past daarentegen mooi in de verwachtingslijn van de praktijkgevallen.

Een andere interpretatie van de proef van Vichetpan is die volgens Wind (1984). Hij suggereert dat meteen, bij de allereerste erosie om een pool, een basisvorm ontstaat die vervolgens bij verdere erosie vormvast blijft, zie fig.15. Er ontstaat geen uiterste evenwichtsvorm, maar de baai blijft eroderen. Tijdens dit erosieproces neemt de hoeveelheid geerodeerd zand af. Bovendien ontstaat aan het uiteinde van de baai een kustvorm volgens Pelnard-Consideré, die aanvankelijk nauwelijks merkbaar is maar zich na verloop van tijd steeds verder ontwikkelt.

Dit gebeurt zolang de kust half oneindig is. In geval van een barriere in de vorm van een niet erodeerbaar punt, zal de basisvorm zich ontwikkelen tot dit niet erodeerbaar punt bereikt is. Hierna zal de spiraalvorm veranderen (in een pocket-beach?) onder anderen onder invloed van diffractie die dan om dit laatste punt gaat optreden. Zolang de spiraalvorm herkenbaar is, heeft Wind een methode aangegeven, gebaseerd op bovenstaand principe, om het zandtransport te berekenen die in de volgende paragraaf wordt besproken. Aangezien de baai van Parachique duidelijk de vorm van een spiraal heeft zal die theorie in principe ook voor dit geval toepasbaar zijn.

Het vermoeden bestaat dan dat met de eerder genoemde methode van Silvester, later uitgebreid door Wind, die kustvorm gevonden wordt tussen twee niet erodeerbare punten waarbij nog net de spiraalvorm herkenbaar blijft.



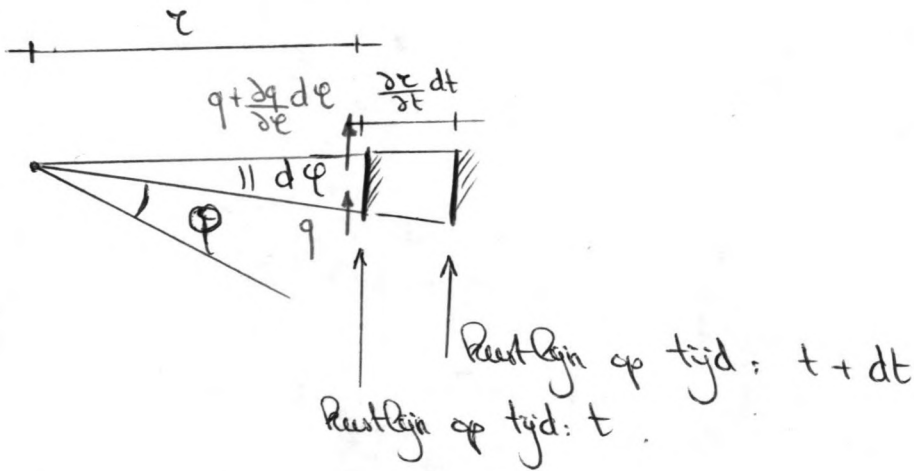
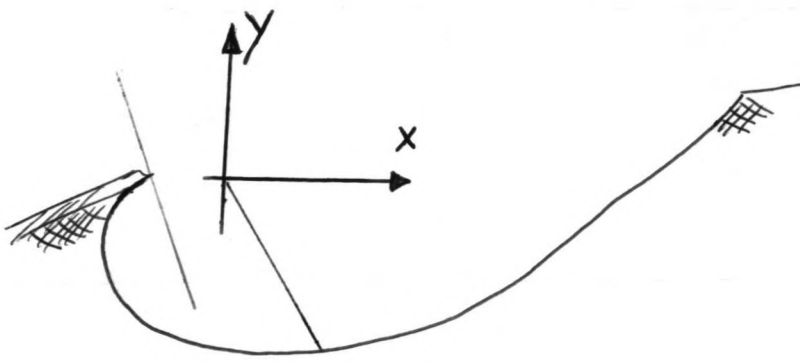
Figuur 15

Wind (1982) laat aan de hand van de proef van Vichetpan zien in fig.9 dat de ontwikkeling van de spiraalvormige baai volgens $t^{1/3}$ verloopt en geheel onafhankelijk is van golfparameters als golfhoogte, periode en richting. Wel heeft de golfrichting invloed op de spiraalvorm in de zin dat deze langer, korter, breder of platter wordt, maar de spiraalvorm zal altijd aanwezig blijven.

Toegepast op de zienswijze van Silvester betekent dit, dat bij een bepaald reeds aanwezig zandtransport een spiraalvormige kustlijn zal ontstaan die zal liggen tussen de rechte lijn en de uiterste evenwichtskromme en die dus onafhankelijk is van de golfparameters. Dezen bepalen slechts de snelheid waarmee de tussenvorm bereikt zal worden; oftewel de evenredigheidsconstante voor de $t^{1/3}$ wordt bepaald door de golfparameters. Omgekeerd betekent dit dat bij een bepaalde kustvorm, een bepaald zandtransport hoort, oftewel dat bij een bepaalde verhouding van de maximale erosie, horende bij de uiterste evenwichtsvorm, tot de aanwezige erosie een verhouding hoort van maximaal zandtransport, bij een rechte kust, tot het aanwezig zandtransport. Anders gezegd: bij $2/3$ van de maximale erosie zal altijd een zandtransport aanwezig zijn ter grootte van een zeker percentage van het maximale zandtransport.

Ook volgens de zienswijze van Wind hoort bij een bepaalde kustvorm een bepaald zandtransport.

Maar omdat de baai dan in principe tot het oneindige door kan eroderen, zijn er geen zandtransport-kustvorm verhoudingen zoals dat bij Silvester wel het geval zou zijn. Oftewel er kan niet gezegd worden dat bij $2/3$ van de maximale erosie altijd een zandtransport aanwezig zal zijn ter grootte van een zeker percentage van het maximale zandtransport, eenvoudig omdat er geen maximale erosie is.



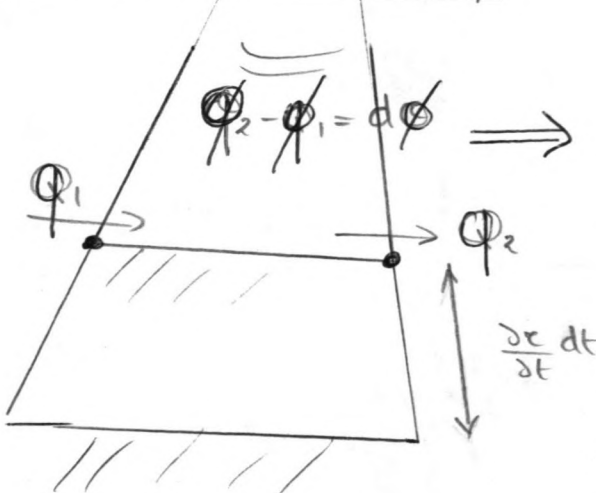
Continuïteits vergelijking

Als $d\phi$ klein is de volume verandering in tijd dt voldoende nauwkeurig te beschrijven door

$$dV = r \cdot d\phi \cdot R \frac{dr}{dt}$$

$$\frac{dq}{d\phi} \cdot d\phi \cdot dt + R \cdot \frac{dr}{dt} \cdot dt \cdot r \cdot d\phi = 0 \quad \Rightarrow$$

$$\frac{dq}{d\phi} + R \cdot r \cdot \frac{dr}{dt} = 0$$

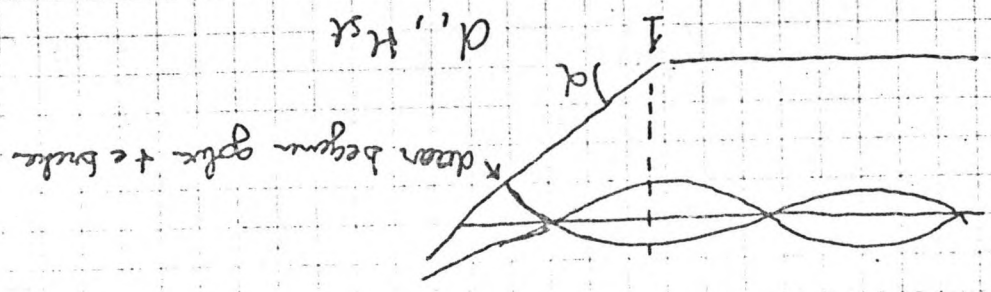


$$\left(\frac{\phi_2 - \phi_1}{\phi_2 - \phi_1} \right) \cdot \frac{1}{-Rr} dt = dr$$

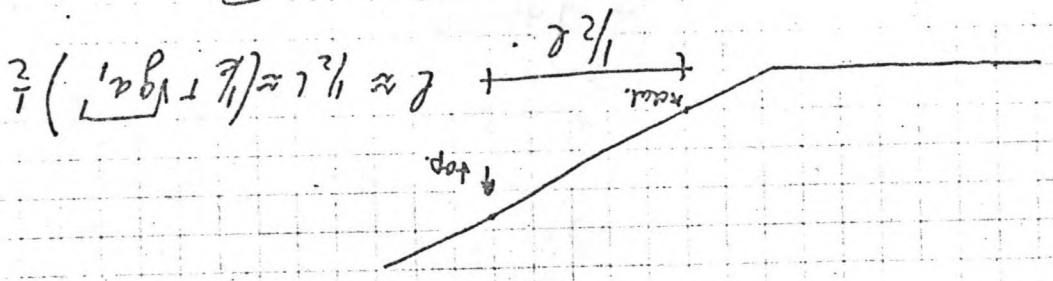
$$\frac{dr}{dt} = - \left(\frac{\phi_2 - \phi_1}{\phi_2 - \phi_1} \right) \left(\frac{t_2 - t_1}{Rr} \right)$$

Stroom

beschouwt de 1^o buik voor de waterlijn



dure verhoeken zijn naar globaal.



$$L \approx \frac{1}{2} T \sqrt{g d_1}$$

$$\approx \alpha', \cot \alpha$$

$$d_1 = \frac{1}{15} g T^2 \tan^2 \alpha$$

Braking outflow $H_{st} = d_1 \cdot 2 \text{ m}$

$$H_{st} = 2 \text{ m}?$$

Centrum voor
of int bezien.

$$H_{st} / g T^2 = \frac{1}{32} \tan^2 \alpha$$

$$\frac{H_{st}}{g T^2} = \frac{2 \text{ m}}{32} = \frac{1}{16} \tan^2 \alpha$$

$$\frac{H_{st}}{L d} = \frac{1}{15} \tan^2 \alpha$$

3.3 Sedimenttransport

Het nu volgende heeft betrekking op het erosieproces rond een pool zoals dat in de vorige paragraaf beschreven is.

Uit fig. 16 kan de algemeen geldende continuïteitvergelijking voor sedimenttransport opgesteld worden:

$$\frac{\partial q}{\partial \varphi} d\varphi dt + h \frac{\partial z}{\partial t} dt \cdot r d\varphi = 0 \quad (1)$$

$$\text{of } \frac{\partial q}{\partial \varphi} + h r \frac{\partial z}{\partial t} = 0 \quad (2)$$

Voor spiraalkusten geldt (Wind 1982)

$$r(\varphi) = r_1(\varphi) \cdot g(t) \quad (3)$$

r_1 is de positie van de kustlijn op het tijdstip t_1

r_0 is de positie van de kustlijn op het tijdstip t_0 .

Stel op t_0 is $r = 0$ (vlak voor het begin van erosie) en op t_1 is $r = r_1$ (de huidige kustvorm).

Uit het werk van Vichetpan (1971) en Wind (1982) volgt:

$$g(t) = \left(\frac{t - t_0}{t_1 - t_0} \right)^{1/3} \quad (4)$$

Dat hier geen macht $1/2$ gevonden is wat bij aanzanding of erosie gebruikelijk is (Pelnard-Considere), komt vanwege de sterke refractie bij de vooroever van de baai.

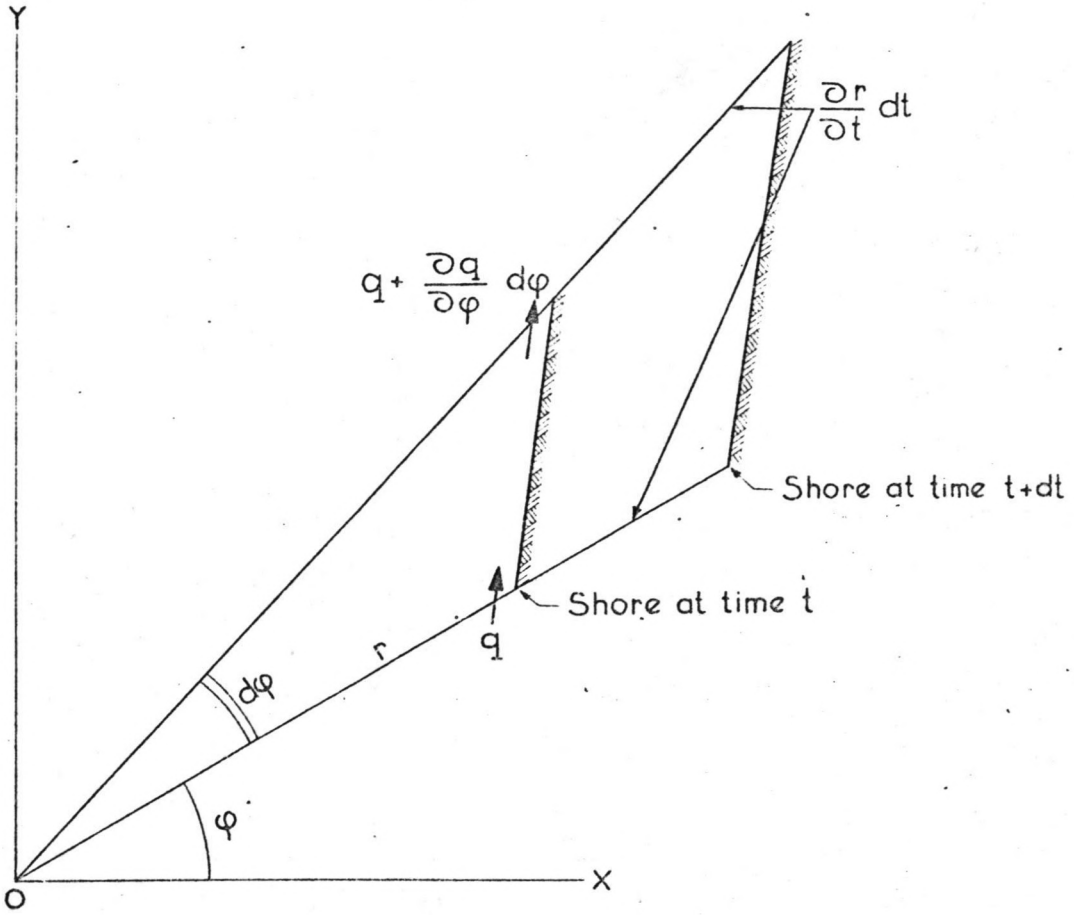
Uit (3) en (4) volgt:

$$\frac{\partial z}{\partial t} = \frac{1}{3} \frac{r_1}{(t_1 - t_0)} \left(\frac{t - t_0}{t_1 - t_0} \right)^{-2/3} \quad (5)$$

Het sedimenttransport volgt dan uit de continuïteitsvergelijking:

$$\frac{\partial q}{\partial \varphi} = -\frac{1}{3} h \cdot r_1^2 \frac{1}{(t_1 - t_0)} \left(\frac{t - t_0}{t_1 - t_0} \right)^{-1/3} \quad (6)$$

De verdeling van het transport op het tijdstip t wordt gevonden door (6) naar φ te integreren en als volgt te schrijven:



Figuur 16

$$q(\varphi, t) = -\frac{2}{3} h \frac{1}{(t_1 - t_0)} \left(\frac{t - t_0}{t_1 - t_0} \right)^{-1/3} \int_{\varphi_0}^{\varphi} \frac{1}{2} z_1^2 d\varphi + H(t) \quad (7)$$

De betekenis van de integraal in (7) wordt duidelijk bij het zien van fig. 20. Het oppervlak van een cirkelsegment met straal r en booglengte $r \cdot d\varphi$ is: $\frac{1}{2} r^2 \cdot d\varphi$.

De integraal is dus het oppervlak van een deel van de baai.

De functie $H(t)$ is een integratieconstante. Deze wordt als volgt gevonden.

De totale erosie Q van de baai is:

$$Q = \int_{t=t_0}^{t=t_1} q(\varphi_1, t) dt \quad (8)$$

$$Q = -\frac{2}{3} h \int_{t_0}^{t_1} \frac{1}{(t_1 - t_0)} \left(\frac{t - t_0}{t_1 - t_0} \right)^{-1/3} dt \int_{\varphi_0}^{\varphi_1} \frac{1}{2} z_1^2 d\varphi + \int_{t_0}^{t_1} H(t) dt \quad (9)$$

$$\frac{Q}{h} = \int_{\varphi_0}^{\varphi_1} \frac{1}{2} z_1^2 d\varphi + \frac{1}{h} \int_{t_0}^{t_1} H(t) dt + C \quad (10)$$

De eerste integraal vormt het totale geërodeerde gebied van de baai. Dan volgt dat de integratieconstanten C en $H(t)$ gelijk aan nul zijn.

De maximale cumulative erosie (= maximaal zandtransport) ligt bij de uitgang van de baai ($\varphi = \varphi_1$):

$$q_{\max} = -\frac{2}{3} h \frac{1}{(t_1 - t_0)} \left(\frac{t - t_0}{t_1 - t_0} \right)^{-2/3} \underbrace{\int_{\varphi_0}^{\varphi_1} \frac{1}{2} z_1^2 d\varphi}_{\text{gehele oppervlakte baai}} \quad (11)$$

De transportverdeling langs de kust is weergegeven in fig. 17. In deze figuur zijn vertikaal twee assen uitgezet.

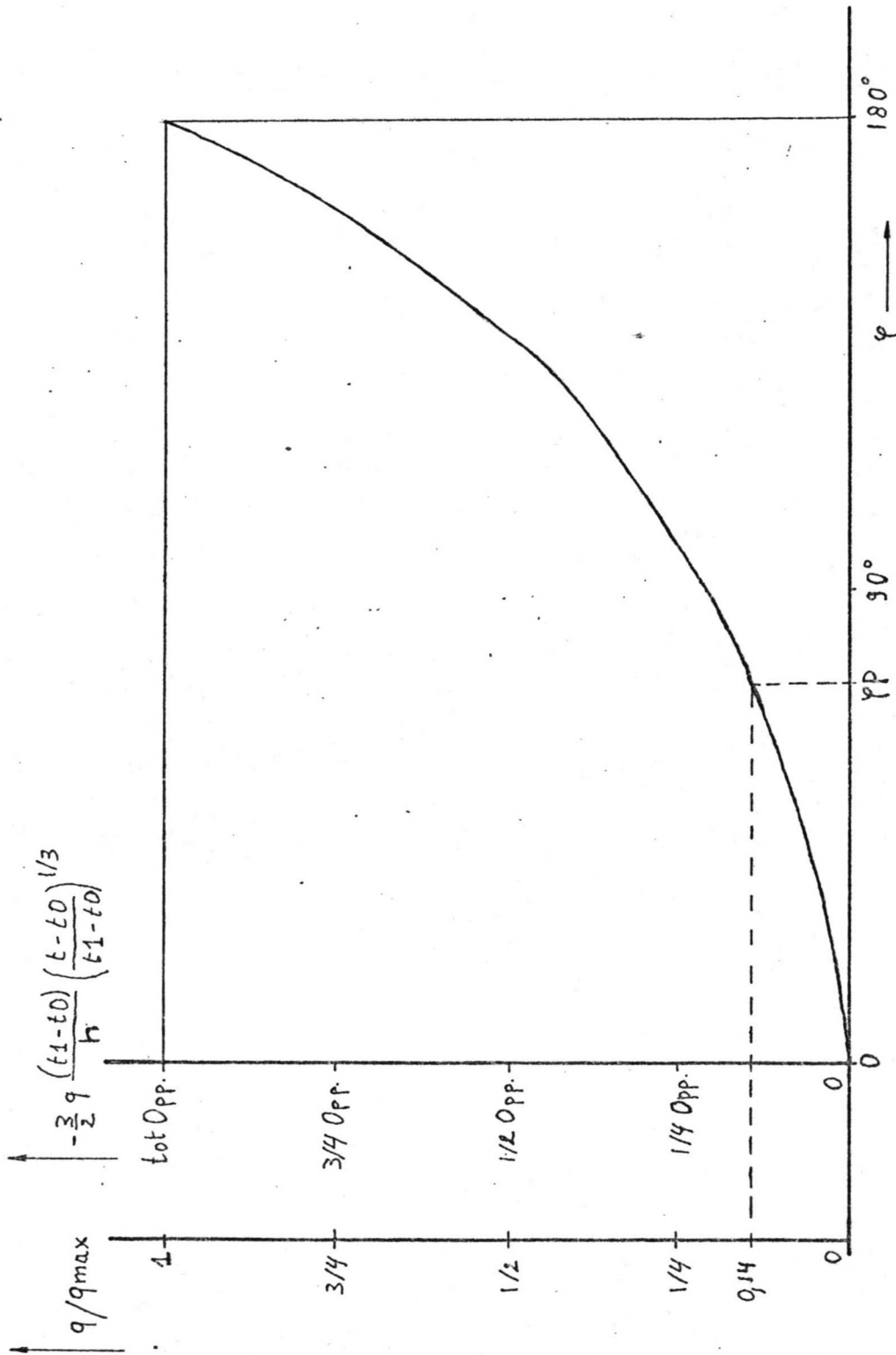


Figure 17

Tot nu toe is hier aangenomen dat geen zandtoevoer van buitenaf in de baai terechtkomt.

In fig. 18 is dan het verloop van de zandtransportcapaciteit en het zandtransport weergegeven voor en na de baai. In dezelfde figuur is hetzelfde weergegeven in het geval dat er extra zandtoevoer is van buitenaf, voortaan qE genoemd. Te zien is dat dan het aanvankelijk verschil tussen zandtransportcapaciteit en zandtransport kleiner is. Te verwachten is dat dan de baai minder snel zal eroderen. Dit zal terug gevonden worden in verg. (3). De $r_1(\varphi)$ in deze vergelijking zal namelijk kleiner zijn voor dezelfde tijdstap ($t_1 - t_0$).

Bij de continuïteitsvergelijking (2) zal een constante bijkomen, namelijk qE , waardoor in de vergelijking voor de verdeling van het zandtransport (7), de constante $H(t)$ niet meer gelijk aan nul is.

Indien qE de baai binnenkomt, de hele baai doorloopt tot het de baai uitgaat, dan is $H(t)$ gelijk aan qE .

Verg. (7) wordt dan:

$$q(\varphi, t) = -\frac{2}{3} h \frac{1}{(t_1 - t_0)} \left(\frac{t - t_0}{t_1 - t_0} \right)^{-1/3} \int_{\varphi_0}^{\varphi} \frac{1}{2} z_1^2 d\varphi - qE \quad (12)$$

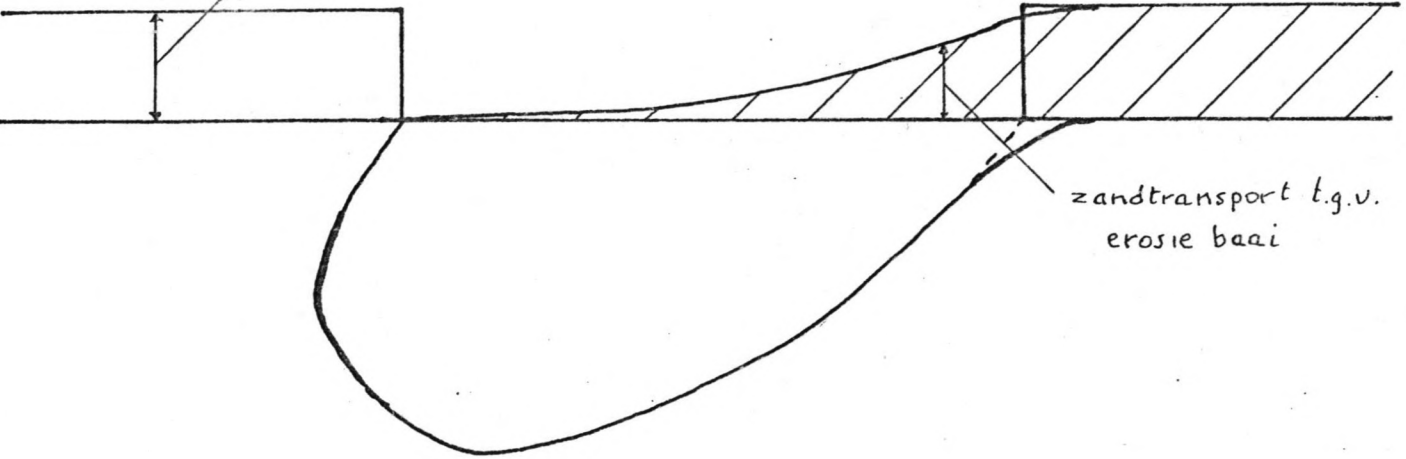
Waarschijnlijker is het dat qE zich over de baai zal verspreiden zoals Silvester dat in fig. 8 aangegeven heeft. Wanneer wordt aangenomen dat qE zich net zo over de baai verdeelt als het zandtransport langs de baai, dus zoals weergegeven in fig. 17, dan kan qE als volgt opgeschreven worden:

$$qE = q(\varphi, tE) = -\frac{2}{3} h \frac{1}{(t_1 - t_0)} \left(\frac{tE - t_0}{t_1 - t_0} \right)^{-1/3} \int_{\varphi_0}^{\varphi} \frac{1}{2} z_1^2 d\varphi \quad (13)$$

Verg. (7) zal dan veranderen in:

$$q(\varphi, t) = -\frac{2}{3} h \frac{1}{(t_1 - t_0)} \left[\left(\frac{t - t_0}{t_1 - t_0} \right)^{-1/3} + \left(\frac{tE - t_0}{t_1 - t_0} \right)^{-1/3} \right] \int_{\varphi_0}^{\varphi} \frac{1}{2} z_1^2 d\varphi \quad (14)$$

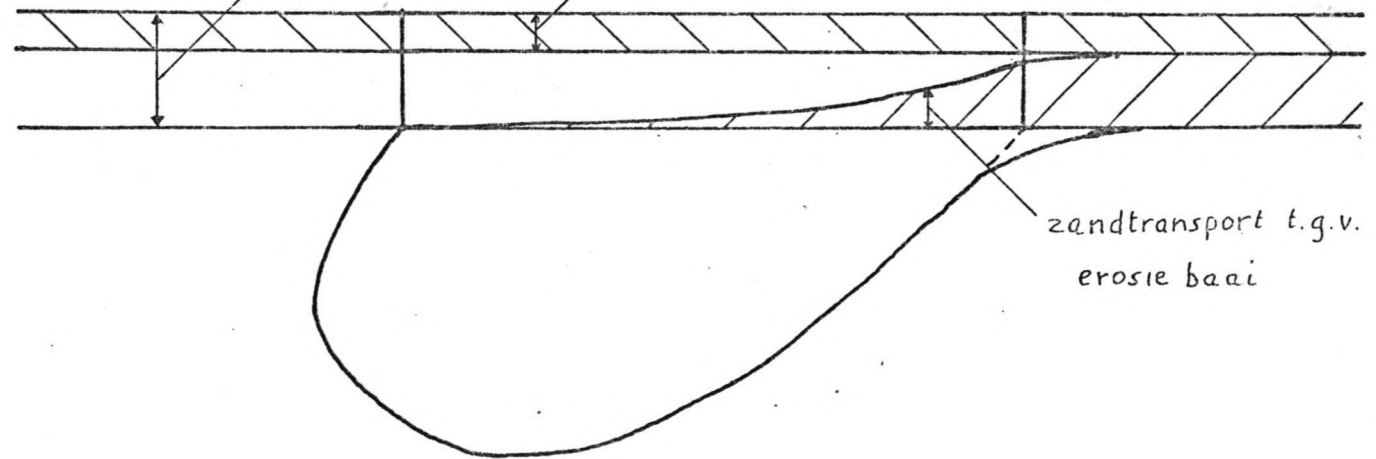
zandtransportcapaciteit



zandtransport t.g.v.
erosie baai

zandtransportcapaciteit

qE



zandtransport t.g.v.
erosie baai

Figuur 18

We komen nu terug op verg.(7).

Met een keuze voor t_1-t_0 , de tijd tussen het heden en het begin van de erosie, de plaats van de pool, zodat $r_1(\varphi)$ bepaald kan worden, en h , de diepte van de baai, ligt de transportverdeling, de erosiesnelheid en de totale erosie vast. De laatste drie grootheden moeten aan de praktijkgevallen getoetst worden.

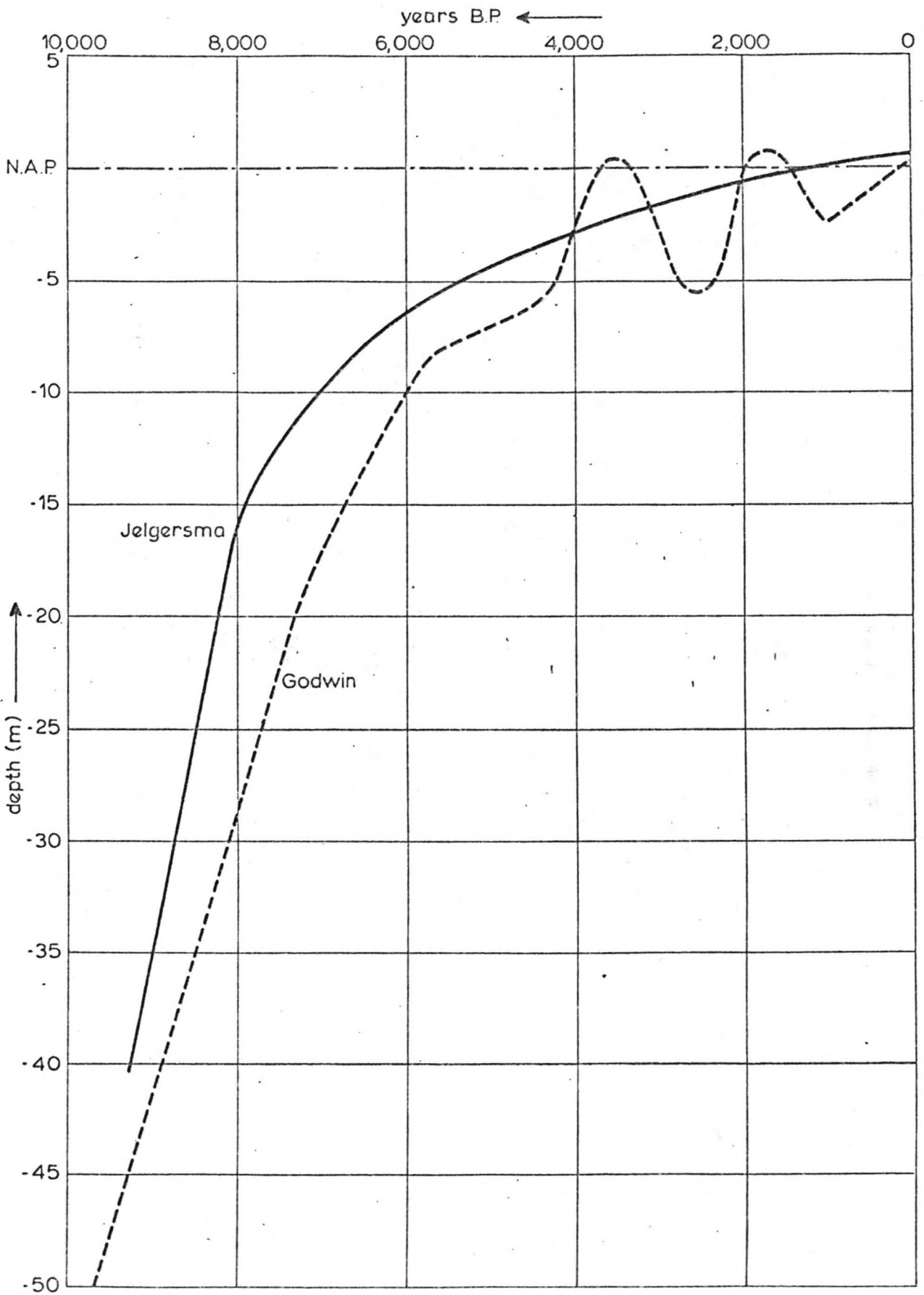
Het is niet bekend wanneer de baai is begonnen te eroderen. Uit fig.19 blijkt dat de zeespiegel in de loop der tijden aanmerkelijk is gestegen. Er kan niet gesteld worden dat de erosie van de baai begonnen is wanneer de zeespiegel zo ongeveer het huidige niveau bereikt heeft. Dit blijkt ook uit de ligging van het diepste punt van de baai op -85 m. Dat punt kan bij de huidige waterstand niet geërodeerd zijn door gradienten in langstransport. In bijlage C is, indien dit wel het geval zou zijn, het maximale zandtransport berekend en dat is, zoals te verwachten, veel te hoog.

De plaats van de pool is niet eenduidig. Deze zal liggen in de buurt van de eerste rotspunt (Bayovar) en waarschijnlijk in het diepste punt van de sluitlijn van de baai.

Ook h is onbekend. Deze is (via erosie door gradienten in langstransport bij constante waterdiepte) in verg.(10) weliswaar gedefinieerd als de inhoud van de baai gedeeld door de oppervlakte, maar beide grootheden zijn tijdsafhankelijk want ze nemen toe met het rijzen van de zeespiegel.

Een tijdsafhankelijke berekening geeft waarschijnlijk betere uitkomsten dan die in bijlage C, maar om zo'n berekening uit te voeren ontbreken de tijdsafhankelijke gegevens.

Een mogelijke methode om bij bekende pool, t_1-t_0 , te bepalen is door uit te gaan van de kustachteruitgang, zie



Figuur 19

fig.20.

$$K = \sin \phi \cdot \frac{\partial z}{\partial t} \quad (15)$$

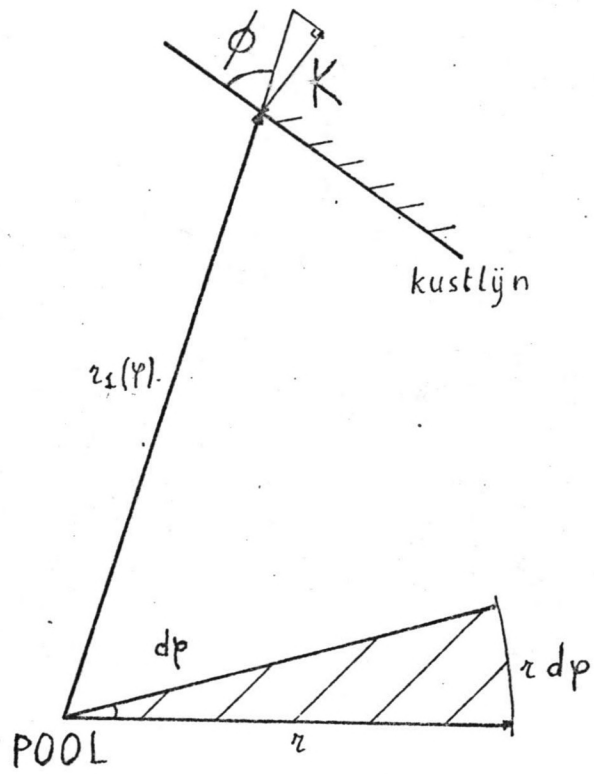
$$K = \frac{1}{3} \sin \phi \frac{z_1}{(t_1 - t_0)} \left(\frac{t - t_0}{t_1 - t_0} \right)^{-2/3} \quad (16)$$

Indien de erosiesnelheid oftewel kustachteruitgang, K, bekend is, kan uit verg.(16) $t_1 - t_0$ bepaald worden. Met welke nauwkeurigheid dit geschiedt hangt af van de nauwkeurigheid waarmee de kustachteruitgang bekend is.

In bijlage D is voor de baai bij Parachique de $t_1 - t_0$ berekend. Aangezien het niet bekend is wat de kustachteruitgang is ter plaatse, is uitgegaan van een niet merkbare (voor menselijke waarneming) kustachteruitgang van 0,1 à 0,05 m per jaar. Vervolgens is met deze $t_1 - t_0$ het sedimenttransport berekend. Voor Parachique zijn de resultaten hiermee 48000 à 24000 m³/j.

Vergelijking (7) is dus, voor dit geval, niet bruikbaar. Daarvoor zijn de voorkomende variabelen niet voldoende bekend.

Wel kan fig.17 gebruikt worden. Deze kan bij een keuze van een pool eenvoudig opgesteld worden aan de hand van verg. (7). Fig.17 en verg. (7) zijn dus eigenlijk gelijk, maar omdat fig.17 de verhouding q/q_{max} op een handzame wijze weergeeft kan deze hier veel makkelijker gebruikt worden. Indien nu het zandtransport op een zeker punt langs de baai berekend moet worden, dan is het voldoende om het zandtransport bij de uitloop van de baai te berekenen, waarna met behulp van de figuur het zandtransport omgerekend kan worden die op elke andere plaats van de baai optreedt. Het voordeel is dat bij de uitloop van de baai de invloed van refractie en diffractie ten gevolge van de vooroever vrijwel nihil is. Een klassieke zandtransportberekening aldaar is dus veel nauwkeuriger dan op een andere kuststrook van de baai.



Figuur 20

Een ander gegeven uit het voorgaande dat gebruikt kan worden, is dat als uiterste bovengrens van het maximale zandtransport, het zandtransport genomen kan worden bij een rechte kustlijn.

In bijlage B is dit geschat voor de baai waar het allemaal voor bedoeld is, de Enseada de Sechura. Samen met fig.17, die opgesteld is aan de hand van gegevens van de zojuist genoemde baai, kan een bovengrens berekend worden voor het sedimenttransport te Parachique. Uit de figuur blijkt dit 0,14 maal het maximale zandtransport te zijn:

$$S \text{ (Parachique)} = 0,14 \times 350.000 \text{ m}^3/\text{j} = 50.000 \text{ m}^3/\text{j}$$

IV CONCLUSIES

In hoofdstuk 2 is het zandtransport bij Parachique berekend en geschat op $90.000 \text{ m}^3/\text{j}$.

Interessant is het om dit resultaat te vergelijken met andere vergelijkbare zandtransportberekeningen. In het rapport "Estudio Portuario Parachique" (1972) wordt het zandtransport bij Parachique geschat op $200.000 \text{ m}^3/\text{j}$. In het artikel "Improvement study for the Parachique inlet" (1977) wordt voor Parachique een waarde opgegeven van $100.000 \text{ m}^3/\text{j}$.

Het resultaat van dit verslag komt goed overeen met die van 1977. Het kleine verschil kan verklaard worden doordat verschillende rekenmethoden zijn gebruikt. Het grote verschil met het eerste rapport komt vanwege een fout die daar gemaakt is bij de statistische verwerking van de golfhoogtegegevens waardoor met een te grote golfhoogte gewerkt is.

Wat de verdeling van het zandtransport over de brekerzone betreft, blijkt bij het bestuderen van fig.7 dat vooral golven uit het westen een grote bijdrage leveren aan het totale zandtransport ondanks hun zeer lage kans van voorkomen. Het zandtransport wat dan optreedt, verloopt volgens de berekeningen grotendeels op enige afstand uit de kustlijn.

Zeer belangrijk is ook dat voor een groot deel van de tijd, $\pm 70\%$, nauwelijks van enig zandtransport sprake is. Kortom, naast de hierboven numerieke waarde van het sedimenttransport, kan uit hoofdstuk 2 nog geconcludeerd worden dat dit zandtransport zeer onregelmatig is en als het ware hortend en stotend verloopt.

In hoofdstuk 3 wordt in de berekeningen in de bijlagen B (maximaal zandtransport bij rechte kust) en D (kustachteruitgang) voor Parachique een zandtransport aangegeven van rond de $35.000 \text{ m}^3/\text{j}$. Hoewel van deze berekeningen geen

grote nauwkeurigheid hoeft te worden verwacht, geven ze wel een indicatie van het werkelijk zandtransport.

De schrijver van dit verslag heeft de indruk, gebaseerd op datgene wat in hoofdstuk 3 over spiraalkusten geschreven staat, dat de berekende $90.000 \text{ m}^3/\text{j}$ aan de hoge kant is, want de bijbehorende kustachteruitgang is $0,20 \text{ m}^3/\text{j}$ indien geen zand van buiten de baai toegevoerd wordt.

De kans bestaat dat in hoofdstuk 2 met een te hoge golfperiode, 14s , gewerkt is. In "Brandingstroom bij Parachique", waar de golfbrandvoorwaarden aan de kust bepaald zijn, is voor deze waarde gekozen met de voornaamste reden om golven uit het Z.W., met hun relatief grote kans van voorkomen, goed weer te kunnen geven. Nu echter blijkt dat golven uit het westen, ondanks hun zeer lage kans van voorkomen (minder dan 1%), toch het grootste deel van het zandtransport voor hun rekening nemen, lijkt een lagere gemiddelde periode reëler voor golven uit deze richting. In "Brandingstroom bij Parachique" is ook al opgemerkt dat de grootste handicap bij deze berekeningen de beschikbare golfgegevens waren.

Zolang echter geen betere golfgegevens beschikbaar zijn, is het hier berekende zandtransport van $90.000 \text{ m}^3/\text{j}$ de beste schatting volgens deze methode.

Rekening houdend met al het bovenstaande lijkt een subjectieve schatting van het werkelijk zandtransport van $70.000 \text{ m}^3/\text{j}$ heel reëel. Voor eventuele verdere berekeningen zal dan ook deze waarde van het zandtransport, dus $70.000 \text{ m}^3/\text{j}$, aangehouden worden.

V BIBLIOGRAFIE

- Dirección General de Extracción, 1974. Estudio Portuario Parachique. Ministry of Fisheries, Lima.
- Moor, R., 1977. Improvement study for the Parachique tidal inlet. Coastal Eng., 1, 1977.
- Le Mehaute, B., 1983. Wave Data Discretization for Shore Line Processes. Journal of Waterway, Port, Coastal and Ocean Engineering, Vol. 109, No. 1.
- Silvester, R., 1974. Coastal Engineering 2. Elsevier Scientific Publishing Company.
- Wind, H.G., 1982. Morphologic Aspects of Gioia Tauro Port. Delft Hydraulics Laboratory, M1857 volume 2.
- Wind, H.G., 1984. Personal communication.
- Marangoni, G., 1984. Brandingstroom bij Parachique. T.H. Delft, R/1984/D/11, vakgroep vloeistofmechanica.
- Collegedictaat f11B

BIJLAGE A

Berekeningen van het zandtransport bij Parachique volgens de Methode Bijker, d.i. formules 1,2 en 3 en fig. 3 van het verslag.

De berekeningen zijn verzameld per hoek van diepwatgolfriehhting. Deze is positief van het zuiden (0°) naar het westen (90°).



GOLFSECTOR MET DIEPWATERGOLFRICHTING 15°

TIJD VAN VOORKOMEN 14,34%

Weibull verdeling

$$P(H_s) : (H_s > H_s) = 1 - \exp\left(-\left(\frac{H_s}{0,3337}\right)^{2,1740}\right)$$

$$H_{eq} = 0,34 \text{ m}$$

$$j = 0,85$$

$$h_{eq} = 0,40 \text{ m}$$

$$m = 0,0131$$

$$Y_{eq} = 30,5 \text{ u}$$

Brandingstroomvergelijking

$$\frac{V^2}{C^2} \cdot (0,75 + 0,45 \left(\frac{u_b}{V}\right)^{1,13}) = \frac{5}{16} \cdot h \cdot \frac{\tan \alpha}{1 + 3j^2/8} \cdot \sqrt{\frac{h}{h_1}} \cdot \phi_1$$

$$\phi_1 = 0,244 \text{ rad} \quad h_1 = 12,0 \text{ m} \quad \tan \alpha = 1/60 \quad g = 9,8 \text{ m/s}^2 \quad T = 14 \text{ s}$$

$$D(50) = 0,150 \text{ mm}$$

$$D(90) = 0,215 \text{ mm}$$

$$W = 0,0176 \text{ m/s}$$

$$\Delta = 1,62$$

$$Stot = 2111 \text{ m}^3/j$$

GOLFSECTOR MET DIEPWATERGOLFRICHTING 15°

TIJD VAN VOORKOMEN 14,34%

	Y m	h m	C $\frac{1}{m^2/s}$	r m	ub m/s	fw -	γ -	V m/s	μ -	$\times 10^{-6}$ Sb $\frac{m^2}{s}$
1	15	0,20	40	1,439	0,5950	0,0222	1,345	0,07564	0,4068	2,0115
2	30,5	0,40	40	2,878	0,8415	0,0258	1,450	0,14031	0,3653	5,6548
3										
4										
5										
6										
7										
8										
9										

	$\times 10^{-6}$ Sb $\frac{m^2}{s}$	$\times 10^{-3}$ A -	Z _* -	St/Sb -	$\times 10^{-6}$ St $\frac{m^2}{s}$	St $\frac{m^2}{j}$	St $\frac{m^3}{j}$
1	2,0115	71,94	0,9848	4,29	8,6293	39,024	292,68
2	5,6548	71,94	0,6431	7,65	43,259	195,63	1818,6
3							
4							
5							
6							
7							
8							
9							

GOLFSECTOR MET DIEPWATERGOLFRICHTING 25°

TIJD VAN VOORKOMEN 6,19%

Weibull verdeling

$$P(H_s) : (\underline{H_s} > H_s) = 1 - \exp\left(-\left(\frac{H_s}{0,3970}\right)^{2,1081}\right)$$

$$H_{eq} = 0,41 \text{ m}$$

$$j = 0,85$$

$$h_{eq} = 0,48 \text{ m}$$

$$m = 0,0131$$

$$Y_{eq} = 36,6 \text{ m}$$

Brandingsstroomvergelijking

$$\frac{v^2}{c^2} \cdot (0,75 + 0,45 \left(\frac{v_{ub}}{v}\right)^{1,13}) = \frac{5}{16} \cdot h \cdot \frac{\tan \alpha}{1+3j^2/8} \cdot \sqrt{\frac{h}{h_1}} \cdot \phi_1$$

$$\phi_1 = 0,236 \text{ rad} \quad h_1 = 11,5 \text{ m} \quad \tan \alpha = 1/60 \quad g = 9,8 \text{ m/s}^2 \quad T = 14 \text{ s}$$

$$D(50) = 0,150 \text{ mm}$$

$$D(90) = 0,215 \text{ mm}$$

$$W = 0,0176 \text{ m/s}$$

$$\Delta = 1,62$$

$$Stot = 2,588 \text{ m}^3/f$$

GOLFSECTOR MET DIEPWATERGOLFRICHTING 25°

TIJD VAN VOORKOMEN 6,13 %

	Y m	h m	C m ^{1/2} /s	r m	ub m/s	fw -	γ -	V m/s	μ -	Sb m ² /s ^{$\times 10^{-6}$}
1	15	0,20	40	1,4388	0,5550	0,0222	1,3450	0,07472	0,4068	1,3864
2	30	0,35	40	2,8056	0,8309	0,0254	1,4462	0,13557	0,3667	5,4055
3	36,6	0,48	40	3,4530	0,9218	0,0366	1,7275	0,13945	0,3555	6,5081
4										
5										
6										
7										
8										
9										

	Sb m ² /s ^{$\times 10^{-6}$}	A - ^{$\times 10^{-3}$}	Z* -	St/Sb -	St m ² /s ^{$\times 10^{-6}$}	St m ² /j	St m ³ /j
1	1,3864	71,94	0,9850	4,28	8,5018	16,596	124
2	5,4055	71,34	0,6534	7,53	40,703	79,455	720
3	6,5081	71,94	0,4954	10,28	66,903	130,60	1743
4							
5							
6							
7							
8							
9							

GOLFSECTOR MET DIEPWATERGOLFRICHTING 35°

TIJD VAN VOORKOMEN 3,48%

Weibull verdeling

$$P(H_s) : (H_s > H_s) = 1 - \exp\left(-\left(\frac{H_s}{0,5466}\right)^{2,0026}\right)$$

$$H_{eq} = 0,57 \text{ m}$$

$$j = 0,85$$

$$h_{eq} = 0,67 \text{ m}$$

$$m = 0,0131$$

$$Y_{eq} = 51,1 \text{ m}$$

Brandingsstroomvergelijking

$$\frac{v^2}{c^2} \cdot (0,75 + 0,45 \left(\frac{ub}{v}\right)^{1,13}) = \frac{5}{16} \cdot h \cdot \frac{\tan \alpha}{1+3j^2/8} \cdot \sqrt{\frac{h}{h_1}} \cdot \phi_1$$

$$\phi_1 = 0,227 \text{ rad} \quad h_1 = 11,5 \quad \tan \alpha = 1/60 \quad g = 9,8 \text{ m/s}^2 \quad T = 14 \text{ s}$$

$$D(50) = 0,150 \text{ mm}$$

$$D(90) = 0,215 \text{ mm}$$

$$W = 0,0176 \text{ m/s}$$

$$\Delta = 1,62$$

$$\text{Stot} = 2147 \text{ m}^3/\text{f}$$

GOLFSECTOR MET DIEPWATERGOLFRICHTING 35°

TIJD VAN VOORKOMEN 3,48%

	Y m	h m	C m ^{1/2} /s	r m	ub m/s	fw -	γ -	V m/s	μ -	Sb m ² /s ^{* 10⁻⁶}
1	15	0,20	40	1,4388	0,5950	0,0222	1,3450	0,07183	0,4068	1,9076
2	30	0,39	40	2,8056	0,8309	0,0256	1,4462	0,13044	0,3667	5,1973
3	45	0,59	40	4,2443	1,0219	0,0288	1,5164	0,18794	0,3450	8,6243
4	51,1	0,67	40	4,820	1,0890	0,0290	1,5392	0,21005	0,3388	9,9576
5										
6										
7										
8										
9										

	Sb m ² /s ^{* 10⁻⁶}	A ^{* 10⁻³}	Z _* -	St/Sb -	St m ² /s	St m ² /j ^{* 10⁻⁶}	St m ³ /j
1	1,9076	71,94	0,9856	4,28	8,1645	8,9602	67
2	5,1973	71,94	0,6540	7,53	39,136	42,950	389
3	8,6243	71,94	0,5057	10,08	86,933	95,405	1038
4	9,9576	71,94	0,4670	10,86	108,14	118,68	653
5							
6							
7							
8							
9							

GOLFSECTOR MET DIEPWATERGOLFRICHTING 45°

TIJD VAN VOORKOMEN 3,48

Weibull verdeling

$$P(H_s) : (H_s > H_s) = 1 - \exp\left(-\left(\frac{H_s}{0,7584}\right)^{2,0257}\right)$$

$$H_{eq} = 0,79 \text{ m}$$

$$j = 0,85$$

$$h_{eq} = 0,93 \text{ m}$$

$$m = 0,0131$$

$$Y_{eq} = 70,9 \text{ m}$$

Brandingsstroomvergelijking

$$\frac{v^2}{c^2} \cdot (0,75 + 0,45 \left(\frac{y_{ub}}{v}\right)^{1,13}) = \frac{5}{16} \cdot h \cdot \frac{\tan \alpha}{1 + 3j^2/8} \cdot \sqrt{\frac{h}{h_1}} \cdot \phi_1$$

$$\phi_1 = 0,227 \text{ rad} \quad h_1 = 11,9 \text{ m} \quad \tan \alpha = 1/60 \quad g = 9,8 \text{ m/s}^2 \quad T = 14 \text{ s}$$

$$D(50) = 0,150 \text{ mm}$$

$$D(90) = 0,215 \text{ mm}$$

$$W = 0,0176 \text{ m/s}$$

$$\Delta = 1,62$$

$$Stot = 5236 \text{ m}^3/\text{y}$$

GOLFSECTOR MET DIEPWATERGOLFRICHTING 45°

TIJD VAN VOORKOMEN 3,48%

	Y	h	C	r	ub	fw	γ	V	μ	Sb
	m	m	$\frac{1}{2}/s$	m	m/s	-	-	m/s	-	$\frac{2}{s}$
1	15	0,20	40	1,4388	0,5550	0,0222	1,3450	0,07058	0,4068	1,8736
2	30	0,39	40	2,8086	0,8309	0,0256	1,4462	0,12824	0,3667	5,1081
3	45	0,59	40	4,2443	1,0219	0,0282	1,5164	0,18482	0,3450	8,4792
4	60	0,79	41,001	5,0	1,1825	0,0284	1,5608	0,25167	0,3435	12,016
5	70,9	0,93	42,274	5,0	1,2831	0,0273	1,5791	0,30559	0,3515	14,722
6										
7										
8										
9										

	$\frac{2}{s}$	$\frac{3}{s}$	Z*	St/Sb	$\frac{2}{s}$	St	St $\frac{3}{j}$
	$\frac{2}{s}$	-	-	-	$\frac{2}{s}$	$\frac{2}{j}$	$\frac{3}{j}$
1	1,8736	71,94	0,9859	4,28	8,0190	8,8005	66
2	5,1081	71,94	0,6543	7,52	38,413	42,156	382
3	8,4792	71,94	0,5059	10,07	85,386	93,707	1019
4	12,016	63,29	0,4336	12,59	126,10	138,39	1741
5	14,722	53,76	0,4054	14,47	213,03	233,73	2028
6							
7							
8							
9							

GOLFSECTOR MET DIEPWATERGOLFRICHTING 55°

TIJD VAN VOORKOMEN 3,48%

Weibull verdeling

$$P(H_s) : (H_s > H_s) = 1 - \exp\left(-\left(\frac{H_s}{0,8321}\right)^{2,0834}\right)$$

$$H_{eq} = 0,87 \text{ m}$$

$$j = 0,85$$

$$h_{eq} = 1,02 \text{ m}$$

$$m = 0,0131$$

$$Y_{eq} = 77,8 \text{ m}$$

Brandingstroomvergelijking

$$\frac{v^2}{c^2} \cdot (0,75 + 0,45 \left(\frac{u_b}{v}\right)^{1,13}) = \frac{5}{16} \cdot h \cdot \frac{\tan \alpha}{1+3j^2/8} \cdot \sqrt{\frac{h}{h_1}} \cdot \phi_1$$

$$\phi_1 = 0,253 \text{ rad} \quad h_1 = 15,4 \text{ m} \quad \tan \alpha = 1/60 \quad g = 9,8 \text{ m/s}^2 \quad T = 14 \text{ s}$$

$$D(50) = 0,150 \text{ mm}$$

$$D(90) = 0,215 \text{ mm}$$

$$W = 0,0176 \text{ m/s}$$

$$\Delta = 1,62$$

$$Stot = 6890 \text{ m}^3/f$$

GOLFSECTOR MET DIEPWATERGOLFRICHTING 55°

TIJD VAN VOORKOMEN 3,48%

	Y	h	C	r	ub	fw	γ	V	μ	Sb
	m	m	$\frac{1}{m^2/s}$	m	m/s	-	-	m/s	-	$\frac{1}{m^2/s}$
1	15	0,20	40	1,4388	0,5550	0,0222	1,3450	0,06912	0,4068	1,8339
2	30	0,39	40	2,8056	0,8309	0,0256	1,4462	0,12565	0,3667	5,0032
3	45	0,59	40	4,2443	1,0219	0,0282	1,5164	0,18113	0,3450	8,3077
4	60	0,79	41,001	5,0	1,1825	0,0284	1,5608	0,24679	0,3435	11,778
5	77,8	1,02	42,000	5,0	1,3437	0,0268	1,5523	0,33312	0,3437	16,072
6										
7										
8										
9										

	$\times 10^{-6}$ Sb $\frac{1}{m^2/s}$	$\times 10^{-3}$ A	Z*	St/Sb	$\times 10^{-6}$ St $\frac{1}{m^2/s}$	St $\frac{1}{m^2/j}$	St $\frac{1}{m^3/j}$
1	1,8339	71,94	0,9862	4,27	7,8308	8,5939	64
2	5,0032	71,54	0,6546	7,52	37,624	41,291	374
3	8,3077	71,94	0,5062	10,07	83,659	91,812	938
4	11,778	63,29	0,4335	12,58	148,17	162,61	1908
5	16,072	49,02	0,3504	16,16	259,72	285,03	3984
6							
7							
8							
9							

GOLFSECTOR MET DIEPWATERGOLFRICHTING 65°

TIJD VAN VOORKOMEN 2,67%

Weibull verdeling

$$P(H_s) : (H_s > H_s) = 1 - \exp\left(-\left(\frac{H_s}{1,0552}\right)^{2,0084}\right)$$

$$H_{eq} = 1,11 \text{ m}$$

$$j = 0,85$$

$$h_{eq} = 1,31 \text{ m}$$

$$m = 0,0131$$

$$Y_{eq} = 99,9 \text{ m}$$

Brandingsstroomvergelijking

$$\frac{V^2}{C^2} \cdot (0,75 + 0,45 \left(\frac{u_b}{V}\right)^{1,13}) = \frac{5}{16} \cdot h \cdot \frac{\tan \alpha}{1+3j^2/8} \cdot \sqrt{\frac{h}{h_1}} \cdot \phi_1$$

$$\phi_1 = 0,244 \text{ rad} \quad h_1 = 14,6 \text{ m} \quad \tan \alpha = 1/60 \quad g = 9,8 \text{ m/s}^2 \quad T = 14 \text{ s}$$

$$D(50) = 0,150 \text{ mm}$$

$$D(90) = 0,215 \text{ mm}$$

$$W = 0,0176 \text{ m/s}$$

$$\Delta = 1,62$$

$$Stot = 12550 \text{ m}^3/f$$

GOLFSECTOR MET DIEPWATERGOLFRICHTING 65°

TIJD VAN VOORKOMEN 2,67°6

	Y	h	C	r	ub	fw	ψ	V	M	Sb
	m	m	m ² /s	m	m/s	-	-	m/s	-	m ² /s
1	15	0,20	40	1,4388	0,5950	0,0222	1,345	0,06845	0,4068	5,8157
2	30	0,38	40	2,8056	0,8309	0,0256	1,4462	0,12445	0,3667	4,9546
3	45	0,59	40	4,2443	1,0219	0,0282	1,5164	0,17943	0,3450	8,2287
4	60	0,79	41,001	5,0	1,1825	0,0284	1,5608	0,24447	0,3435	11,668
5	75	0,98	42,686	5,0	1,3171	0,0270	1,5849	0,32739	0,3541	15,535
6	90	1,18	44,138	5,0	1,4453	0,0259	1,6046	0,40512	0,3630	19,048
7	99,9	1,31	44,555	5,0	1,5228	0,0253	1,6152	0,46060	0,3673	21,521
8										
9										

	Sb	A	Z _*	St/Sb	St	St	St
	m ² /s	-	-	-	m ² /s	m ² /j	m ³ /j
1	5,8157	71,94	0,9863	4,27	7,7530	6,5281	49
2	4,9546	71,94	0,6547	7,52	37,259	31,372	284
3	8,2287	71,94	0,5063	10,06	82,781	69,703	758
4	11,668	63,29	0,4340	12,58	146,78	123,59	1450
5	15,535	51,02	0,3968	15,12	234,89	157,78	2410
6	19,048	42,37	0,3673	21,85	416,20	350,45	4112
7	21,521	38,17	0,3512	26,08	561,27	439,71	3887
8							
9							

GOLFSECTOR MET DIEPWATERGOLFRICHTING 75°

TIJD VAN VOORKOMEN 0,24 %

Weibull verdeling

$$P(H_s) : (H_s > H_s) = 1 - \exp\left(-\left(\frac{H_s}{1,8821}\right)^{1,4687}\right)$$

$$H_{eq} = 2,24$$

$$j = 0,85$$

$$h_{eq} = 2,64$$

$$m = 0,0131$$

$$Y_{eq} = 201,3$$

Brandingstroomvergelijking

$$\frac{v^2}{c^2} \cdot (0,75 + 0,45 \left(\frac{y_{ub}}{v}\right)^{1,13}) = \frac{5}{16} \cdot h \cdot \frac{\tan \alpha}{1 + 3j^2/8} \cdot \sqrt{\frac{h}{h_1}} \cdot \phi_1$$

$$\phi_1 = 0,227 \text{ rad} \quad h_1 = 14,6 \text{ m} \quad \tan \alpha = 1/60 \quad g = 9,8 \text{ m/s}^2 \quad T = 14 \text{ s}$$

$$D(50) = 0,150 \text{ mm}$$

$$D(90) = 0,215 \text{ mm}$$

$$W = 0,0176 \text{ m/s}$$

$$\Delta = 1,62$$

$$\text{Stot} = 11985 \text{ m}^2/\text{f}$$

GOLFSECTOR MET DIEPWATERGOLFRICHTING 75°

TIJD VAN VOORKOMEN 0,24%

	Y m	h m	C m ^{1/2} /s	r m	ub m/s	fw -	γ -	V m/s	M -	Sb m ² /s $\times 10^{-6}$
1	30	0,39	40	2,8056	0,8309	0,0256	1,4462	0,11574	0,3667	4,6028
2	60	0,79	41,001	5,0	1,1825	0,0284	1,5608	0,22790	0,3435	10,869
3	90	1,18	44,138	5,0	1,4453	0,0259	1,6046	0,37882	0,3630	17,755
4	120	1,57	46,370	5,0	1,6671	0,0243	1,6330	0,53753	0,3763	24,779
5	150	1,97	48,144	5,0	1,8674	0,0231	1,6543	0,70458	0,3865	31,906
6	180	2,36	49,556	5,0	2,0439	0,0223	1,6704	0,87113	0,3993	38,790
7	201,3	2,64	50,433	5,0	2,1617	0,0218	1,6801	0,99165	0,3991	43,688
8										
9										

	Sb m ² /s $\times 10^{-6}$	A - $\times 10^{-3}$	Z _* -	St/Sb -	St m ² /s $\times 10^{-6}$	St m ² /j	St m ³ /j
1	4,6028	71,94	0,6556	7,51	34,567	2,6163	39
2	10,869	63,29	0,4350	12,56	136,51	10,332	154
3	17,755	42,37	0,3686	21,76	387,22	29,307	555
4	24,779	31,85	0,3261	33,33	825,88	62,508	1377
5	31,906	25,38	0,2948	42,50	1356,0	102,63	2477
6	38,790	21,19	0,2714	49,56	1922,4	145,5	3722
7	43,688	18,94	0,2575	57,67	2519,5	190,69	3980
8							
9							

GOLFSECTOR MET DIEPWATERGOLFRICHTING 85° TIJD VAN VOORKOMEN $0,24\%$

Weibull verdeling

$$P(H_s) : (H_s > H_s) = 1 - \exp\left(-\left(\frac{H_s}{2,2430}\right)^{1,4583}\right)$$

$$H_{eq} = 2,68 \text{ m}$$

$$j = 0,85$$

$$h_{eq} = 3,15 \text{ m}$$

$$m = 0,0131$$

$$Y_{eq} = 240,0 \text{ m}$$

Brandingstroomvergelijking

$$\frac{v^2}{c^2} \cdot (0,75 + 0,45 \left(\frac{v_{ub}}{v}\right)^{1,13}) = \frac{5}{16} \cdot h \cdot \frac{\tan \alpha}{1 + 3j^2/8} \cdot \sqrt{\frac{h}{h_1}} \cdot \phi_1$$

$$\phi_1 = 0,157 \text{ rad} \quad h_1 = 13,7 \text{ m} \quad \tan \alpha = 1/60 \quad g = 9,8 \text{ m/s}^2 \quad T = 14 \text{ s}$$

$$D(50) = 0,150 \text{ mm}$$

$$D(90) = 0,215 \text{ mm}$$

$$W = 0,0176 \text{ m/s}$$

$$\Delta = 1,62$$

$$Stot = 15634 \text{ m}^3/j$$

GOLFSECTOR MET DIEPWATERGOLFRICHTING 85° TIJD VAN VOORKOMEN $0,2406$

	Y m	h m	C $\frac{1}{2}/s$	r m	ub m/s	fw -	γ -	V m/s	μ -	S_b m^2/s
1	30	0,39	40	2,8056	0,8309	0,0256	1,4462	0,08180	0,3667	$3,2414 \cdot 10^{-6}$
2	60	0,79	41,001	5,0	1,1825	0,0284	1,5608	0,16272	0,3435	$7,7334 \cdot 10^{-6}$
3	90	1,18	44,138	5,0	1,4453	0,0259	1,6046	0,27420	0,3630	$12,841 \cdot 10^{-6}$
4	120	1,57	46,370	5,0	1,6671	0,0243	1,6330	0,39314	0,3763	$18,064 \cdot 10^{-6}$
5	150	1,97	48,144	5,0	1,8674	0,0231	1,6543	0,51997	0,3865	$23,454 \cdot 10^{-6}$
6	180	2,36	49,556	5,0	2,0439	0,0223	1,6704	0,64689	0,3945	$28,708 \cdot 10^{-6}$
7	240	2,75	50,752	5,0	2,2063	0,0216	1,6836	0,77608	0,4009	$33,541 \cdot 10^{-6}$
8	240	3,15	51,813	5,0	2,3613	0,0210	1,6949	0,91029	0,4066	$39,276 \cdot 10^{-6}$
9										

	S_b m^2/s	A -	Z_* -	St/Sb -	St m^2/s	St m^2/j	St m^3/j
1	$3,2414 \cdot 10^{-6}$	71,94	0,6586	7,47	24,213	1,8326	27
2	$7,7334 \cdot 10^{-6}$	63,29	0,4382	12,48	96,588	7,3104	137
3	$12,841 \cdot 10^{-6}$	42,37	0,3731	21,43	275,18	20,827	422
4	$18,064 \cdot 10^{-6}$	31,85	0,3317	32,73	551,23	44,748	984
5	$23,454 \cdot 10^{-6}$	25,38	0,3014	41,69	977,80	74,006	1781
6	$28,708 \cdot 10^{-6}$	21,19	0,2787	48,53	1353,2	105,45	2692
7	$33,541 \cdot 10^{-6}$	18,18	0,2605	60,69	2059,9	155,91	3920
8	$39,276 \cdot 10^{-6}$	15,87	0,2450	74,72	2934,7	222,12	5670
9							

GOLFSECTOR MET DIEPWATERGOLFRICHTING 95° TIJD VAN VOORKOMEN $0,24\%$

Weibull verdeling

$$P(H_s) : (H_s > H_s) = 1 - \exp\left(-\left(\frac{H_s}{2,4675}\right)^{1,4583}\right)$$

$$H_{eq} = 3,01 \text{ m}$$

$$j = 0,85$$

$$h_{eq} = 3,54 \text{ m}$$

$$m = 0,0131$$

$$Y_{eq} = 270,0 \text{ m}$$

Brandingsstroomvergelijking

$$\frac{V^2}{C^2} \cdot (0,75 + 0,45 \left(\frac{ub}{V}\right)^{1,13}) = \frac{5}{16} \cdot h \cdot \frac{\tan \alpha}{1 + 3j^2/8} \cdot \sqrt{\frac{h}{h_1}} \cdot \phi_1$$

$$\phi_1 = 0,122 \text{ rad} \quad h_1 = 12,4 \text{ m} \quad \tan \alpha = 1/60 \quad g = 9,8 \text{ m/s}^2 \quad T = 14 \text{ s}$$

$$D(50) = 0,150 \text{ mm}$$

$$D(90) = 0,215 \text{ mm}$$

$$W = 0,0176 \text{ m/s}$$

$$\Delta = 1,62$$

$$Stot = 19185 \text{ m}^3/\text{t}$$

GOLFSECTOR MET DIEPWATERGOLFRICHTING 95°

TIJD VAN VOORKOMEN 0,24%

	Y m	h m	C m ^{1/2} /s	r m	ub m/s	fw -	γ -	V m/s	μ -	Sb m ² /s $\times 10^{-6}$
1	30	0,39	40	2,8056	0,8309	0,0256	1,4462	0,06603	0,3667	2,6132
2	60	0,79	41,001	5,0	1,1825	0,0284	1,5608	0,13205	0,3435	6,2745
3	90	1,18	44,138	5,0	1,4453	0,0259	1,6046	0,22411	0,3630	10,483
4	120	1,57	46,370	5,0	1,6671	0,0243	1,6330	0,32315	0,3763	14,829
5	150	1,97	48,144	5,0	1,8674	0,0231	1,6543	0,42948	0,3865	19,346
6	180	2,36	49,556	5,0	2,0439	0,0223	1,6704	0,53641	0,3945	23,772
7	210	2,75	50,752	5,0	2,2063	0,0216	1,6836	0,64572	0,4009	28,200
8	240	3,15	51,813	5,0	2,3613	0,0210	1,6949	0,75967	0,4066	32,730
9	270	3,54	52,726	5,0	2,5033	0,0205	1,7044	0,87219	0,4114	37,131

	Sb m ² /s $\times 10^{-6}$	A - $\times 10^{-3}$	Z* -	St/Sb -	St m ² /s $\times 10^{-6}$	St m ² /j	St m ³ /j
							22
1	2,6132	71,94	0,6597	7,46	19,494	1,4754	
2	6,2745	63,29	0,4353	12,46	78,180	5,5172	111
3	10,483	42,37	0,3748	21,30	222,29	16,824	341
4	14,829	31,85	0,3339	32,50	481,94	36,476	800
5	19,346	25,38	0,3040	41,33	759,57	60,517	1455
6	23,772	21,19	0,2816	48,13	1144,1	86,553	2207
7	28,200	18,18	0,2637	60,12	1695,4	128,32	3224
8	32,730	15,87	0,2485	73,96	2420,7	183,21	4673
9	37,131	14,12	0,2360	85,53	3175,8	240,36	6354

GOLFSECTOR MET DIEPWATERGOLFRICHTING 105° TIJD VAN VOORKOMEN $0,24\%$

Weibull verdeling

$$P(H_s) : (H_s > H_s) = 1 - \exp\left(-\left(\frac{H_s}{2,4793}\right)^{1,4747}\right)$$

$$H_{eq} = 3,03 \text{ m}$$

$$h_{eq} = 3,56 \text{ m}$$

$$Y_{eq} = 271,5 \text{ m}$$

$$j = 0,85$$

$$m = 0,0131$$

Brandingstroomvergelijking

$$\frac{V^2}{C^2} \cdot (0,75 + 0,45 \left(\frac{u_b}{V}\right)^{1,13}) = \frac{5}{16} \cdot h \cdot \frac{\tan \alpha}{1+3j^2/8} \cdot \sqrt{\frac{h}{h_1}} \cdot \phi_1$$

$$\phi_1 = 0,087 \text{ rad} \quad h_1 = 12,4 \text{ m} \quad \tan \alpha = 1/60 \quad g = 9,8 \text{ m/s}^2 \quad T = 14 \text{ s}$$

$$D(50) = 0,150 \text{ mm}$$

$$D(90) = 0,215 \text{ mm}$$

$$W = 0,0176 \text{ m/s}$$

$$\Delta = 1,62$$

$$\text{Stot} = 14000 \text{ m}^3/\text{f}$$

GOLFSECTOR MET DIEPWATERGOLFRICHTING 105°

TIJD VAN VOORKOMEN 0,24%

	Y m	h m	C m ^{1/2} /s	r m	ub m/s	fw -	γ -	V m/s	M -	* 10 ⁻⁶ Sb m ² /s
1	30	0,39	40	2,8056	0,8309	0,0256	1,4462	0,04583	0,3667	1,8115
2	60	0,79	41,001	5,0	1,1825	0,0284	1,5608	0,09228	0,3435	4,3805
3	90	1,18	44,138	5,0	1,4453	0,0259	1,6046	0,15820	0,3630	7,3913
4	120	1,57	46,370	5,0	1,6671	0,0243	1,6330	0,23005	0,3763	10,542
5	150	1,97	48,144	5,0	1,8674	0,0231	1,6543	0,30795	0,3865	13,852
6	180	2,36	49,556	5,0	2,0439	0,0223	1,6704	0,38701	0,3945	17,124
7	210	2,75	50,752	5,0	2,2063	0,0216	1,6836	0,46837	0,4009	20,422
8	240	3,15	51,813	5,0	2,3613	0,0210	1,6949	0,55371	0,4066	23,817
9	271,5	3,56	52,770	5,0	2,5103	0,0205	1,7048	0,64280	0,4116	27,304

	* 10 ⁻⁶ Sb m ² /s	* 10 ⁻³ A -	Z*	St/Sb -	* 10 ⁻⁶ St m ² /s	St m ² /j	St m ³ /j
1	1,8115	71,94	0,6607	7,45	13,496	1,0215	15
2	4,3805	63,29	0,4405	12,43	54,450	4,1211	77
3	7,3913	42,37	0,3766	21,17	156,47	11,843	239
4	10,542	31,85	0,3362	32,25	339,98	25,732	564
5	13,852	25,38	0,3067	40,99	567,79	42,974	1031
6	17,124	21,19	0,2849	47,66	816,13	61,770	1571
7	20,422	18,18	0,2674	59,47	1214,5	91,921	2305
8	23,817	15,87	0,2525	73,09	1740,8	131,75	3355
9	27,304	14,04	0,2397	85,01	2321,1	175,68	4842

BYLAGE B

Zandtransport by de sluitlijn van de baai
in fig 14, m. b.v. de CERC-formule

Golfgegevens: uit U.S. Navy Marine Climatic
Atlas of the World South Pacific
Ocean.

$$T = 7 \text{ s}$$

Voor de T is hier de $T(50\%)$ gekozen.

$$H_s = 1,60 \text{ m}$$

Dere H is de H_{eq} zoals die in het
rapport besproken is en die, by een
Weibull verdeling by benadering
de $H_s(60\%)$ is.

Tyd van voorbomen:

$$Z = 34,5 \%$$

$$Z_W = 2,5 \%$$

Andere golfrichtingen zyn verwaarloosbaar
klein ($< 0,1\%$) of lopen van de baai vandaan

$$\text{CERC-formule: } S = 0,02 (H_s)_0^2 \cdot C_0 \cdot \sin \phi_{b2} \cdot \cos \phi_0$$

$$\text{Gegevens: } C_0 = 10,9 \text{ m/s} \quad \beta = 0,8$$

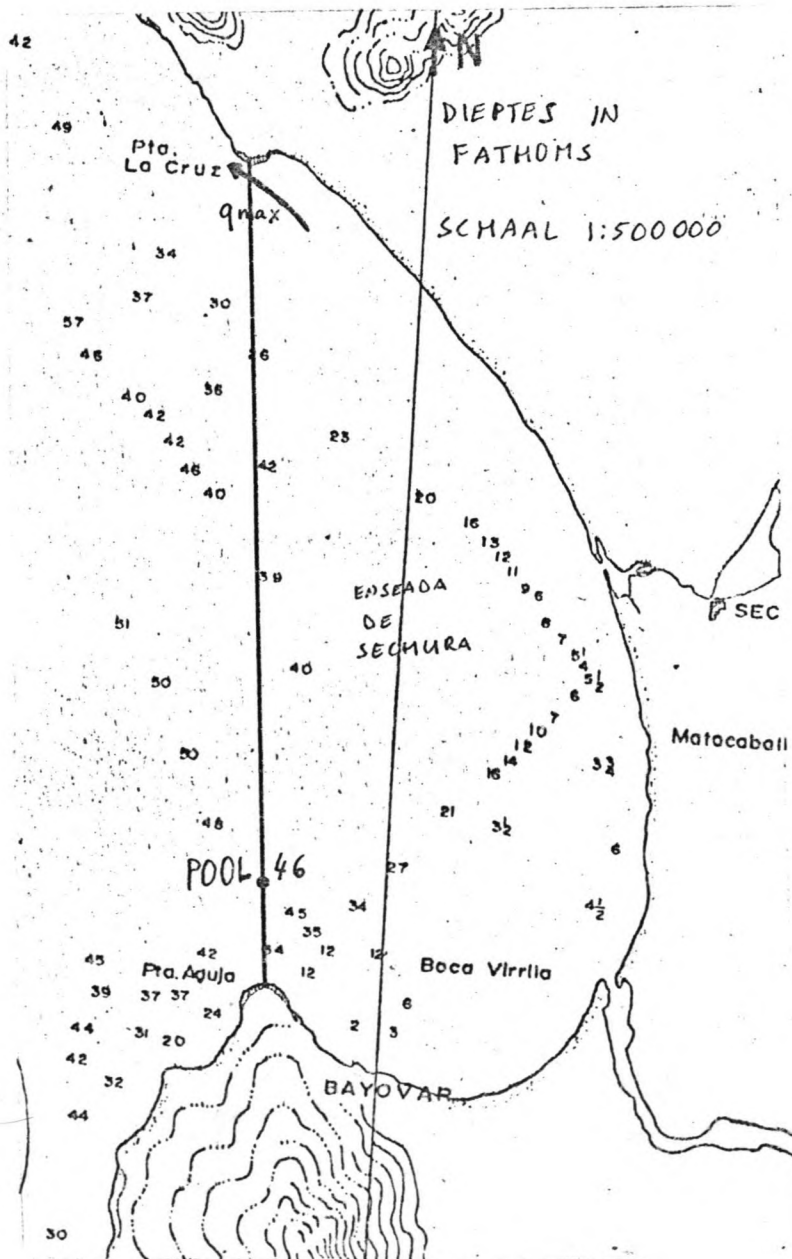
$$Z: \phi_0 = 83^\circ \rightarrow \phi_{b2} = 21,1^\circ$$

$$Z_W: \phi_0 = 38^\circ \rightarrow \phi_{b2} = 12,9^\circ$$

$$S \text{ totaal: } 350\,000 \text{ m}^3/\text{d}$$

BYLAGE C

Berekening van het huidige maximale zandtransport in de Ensenada de Sechura. Hierbij is uitgegaan dat de baai begonnen was te eroderen wanneer de zeespiegel het huidige niveau bereikt had. Zie hiervoor de kromme van Jørgensen in fig. 19.



$$-q_{\max} = -\frac{2}{3} h \frac{1}{(t_1 - t_0)} \cdot A$$

- A: Oppervlakte van de baai

Dere is hier $1075 \cdot 10^6 \text{ m}^2$

-($t_1 - t_0$): De periode dat de zeespiegel het huidige niveau heeft behouden

Uit fig. wordt ($t_1 - t_0$) geschat op 2000 jaar

- h: Kenmerkende waterdiepte

De baai wordt geschematiseerd tot een half cirkelsegment



$$\text{Volume baai} = \frac{1}{2} \cdot \frac{a\pi}{6} (3R^2 + a^2)$$

$$\text{Oppervlakte baai} = \frac{1}{2} \cdot \pi R^2 = 1075 \cdot 10^6 \text{ m}^2$$

$$a = \text{diepte punt van de baai} = 46 \times 1,83 = 84 \text{ m}$$

$$R = 26200 \text{ m}$$

$$h = \frac{\text{Volume}}{\text{Oppervlakte}} = 42 \text{ m}$$

$$-q_{\max} = -\frac{2}{3} \cdot 42 \cdot \frac{1}{2000} \cdot 1075 \cdot 10^6$$

$$= -15\,000\,000 \text{ m}^3/\text{jaar} \quad (\text{aanzanding})$$

$$= 15\,000\,000 \text{ m}^3/\text{jaar} \quad (\text{erosie})$$

BYLAGE D.

Uitgaande van de achteruitgang van de kust bij Punta Le Cruz is berekend hoe lang de baai al aan het eroderen is. Met deze uitkomst is daarna het huidige maximale sedimenttransport berekend, identiek aan bylage A. Aangezien voor deze baai geen gegevens bekend zijn over kustachteruitgang wordt aangenomen dat deze van die grootte is dat ze niet door mensen opgemerkt wordt. Geschat wordt daarom dat de kustachteruitgang 0,1 à 0,05 m per jaar is.

$$- K = \frac{1}{3} \sin \phi \frac{r_1(\phi)}{(t_1 - t_0)}$$

- K : kustachteruitgang

$$K = 0,1 \text{ à } 0,05 \text{ m/jaar}$$

- ϕ : hoek van de straal $r_1(\phi)$ met de kustlijn

$$\sin \phi \approx 1 \quad (\text{zie fig. 20})$$

- $r_2(\phi)$: afstand pool - kustlijn

$r_1(\phi)$ is gemiddeld 26200 m (zie bylage C)

$$- (t_1 - t_0) = \frac{26200}{0,3} \text{ à } \frac{26200}{0,15}$$

$$= 87000 \text{ à } 175000 \text{ jaar}$$

$$- q_{\max} = - \frac{2}{3} k \frac{1}{(t_1 - t_0)} A \quad (\text{zie bylage C})$$

$$= 345000 \text{ à } 172000 \text{ m}^3/\text{jaar}$$

- Voor Parachique wordt het zandtransport met behulp van f17 in het verslag:

$$q_A = 0,14 * (345000 \text{ à } 172000)$$

$$= 48000 \text{ à } 24000 \text{ m}^3/\text{f}$$

822971