

KW-SEK- 3247
Behren- 1968

SEDIMENT TRANSPORT

MOND HARINGVLIET

H.W.A. BEHRENS

A. ZWOLS

MOND VAN HET HARINGVLIET.

Een onderzoek naar de sedimentbeweging ten gevolge van golven en getijstroomen voor de mond van het Haringvliet.

Hoofdontwerp voor Prof. P.Ph. Jansen en Prof. E.W.Bijker,
door A.Zwols en H.W.A.Behrens,
Delft, oktober 1968.

Inhoud.

I.	Inleiding	blz. 3
I.A.1	Scheepvaart	blz. 3
I.A.2.	Scheepvaart	blz. 4
I.B.	Hydrologie	blz. 5
I.C.	Waterkering	blz. 5
I.D.	Rekreatie	blz. 7
I.E.	Natuur	blz. 8
II.	Sedimenttransport	blz. 9
II.A.	Sedimenttransport door golven; toegepaste metode.	blz. 9
II.B.	Sedimenttransport door golven: bepaling van de equivalente periode.	blz. 13
III.	Bepaling van de evenredigheidskonstante (β_s)	blz. 18
IV.	Kontrolé sedimenttransportberekening	blz. 22
V.	Zandtransport door getijstroom	blz. 29
VI.	Afleiding formules voor zwevend transport	blz. 30
VII.	Berekening van het zwevend transport	blz. 35
VIII.	Slotbeschouwing	blz. 46
	Lijst van symbolen	blz. 56
	Geraadpleegde literatuur	blz. 58

VOORONDERZOEK

I. INLEIDING.

Wanneer de afsluiting van het Haringvliet een voldoende feit zal zijn en tevens ook de aanleg van Europoort (Maasvlakte) haar beslag zal hebben gekregen, zal de natuur trachten deze ingrepen in het bestaande regiem te wijzigen of misschien zelfs te niet te doen. Er kunnen veranderingen optreden welke in strijd zijn of zouden kunnen zijn met de eisen welke men aan een dergelijk gebied als de mond van het Haringvliet zal stellen. In onderstaand betoog wordt getracht een analyse te geven van de mogelijke eisen.

I.A.1. Scheepvaart.

Ten behoeve van de scheepvaart is in de Haringvlietdam een schutsluis gekonstrueerd. Aan de vaargeul waardoor de schepen de schutsluis kunnen bereiken, dienen de volgende eisen te worden gesteld:

- 1^o Er dient voldoende diepte en breedte gegarandeerd te worden. De **minimale** afmetingen van de vaargeul kunnen op vrij eenvoudige wijze worden bepaald indien we in aanmerking nemen dat de afmetingen van de verwachten schepen (vissersschepen) bekend zijn. (Ook de afmetingen van de schutsluis zijn overigens bekend.)
- 2^o De geul dient zo goed mogelijk plaatsvast gefixeerd te zijn. Het meanderen bijvoorbeeld zou tot ongewenste situaties kunnen leiden met betrekking tot bebakening, diepte, breedte enz.
Ook meerdere geulen zijn ongewenst, daar zij door optredende variaties in de debieten grote instabiliteit zullen kunnen vertonen.
- 3^o In verband met de manoeuvreerbaarheid van de schepen dienen in de vaargeul zo weinig mogelijk en in ieder geval zo flauw mogelijk verlopende bochten te worden opgenomen. Dit vereenvoudigt ook het vastleggen van de lichtenlijn.

- 4°. De stroomsnelheid in de vaargeul, welke in belangrijke mate wordt bepaald door getij- en spuistroom zal niet al te hoog mogen oplopen, eveneens in verband met een goed manoeuvreerbaarheid van de schepen.
- 5°. De vaart in de vaargeul zal zo weinig mogelijk gestremd dienen te zijn. Daarom is de kennis vereist van :
 - a. frekwentie van de optredende waterstanden,
 - b. frekwentie van voorkomende stroomsnelheden,
 - c. kans op ijsbezwaar,
 - d. optreden van hoge zeegolven.
- 6°. Ook het vaargeulgedeelte gelegen tussen de buitenhaven en de spuigeul zal aan de minimale afmetingen moeten voldoen. Dit kan worden gerealiseerd door:
 - a. spuien door de schutsluis,
 - b. baggeren,
 - c. combinatie van spuien en baggeren.

I.A.2. Scheepvaart.

Overwegende dat in de toekomst een uitbreiding van Euro-poort in zuidwaartse richting tot de mogelijkheden behoort, dient er een nader onderzoek te worden ingesteld naar:

- a. de behoefte aan een dergelijk havengebied,
- b. de technische mogelijkheden om het havengebied te verwezenlijken.

Beide genoemde punten zullen tegen elkaar moeten worden afgewogen in een economische berekening. Dat wil zeggen de baten voor de nationale economie zullen moeten worden vergeleken met de totale gekapitaliseerde kosten van de eventuele uit te voeren werken.

In dit licht gezien is het goed te verwijzen naar het rapport van de commissie van Aartsen, waarin vertegenwoordigers van de provincies Zeeland, Zuid-Holland en Noord-Brabant, de stad Rotterdam en het openbaar lichaam Rijnmond overlegd hebben over de zeehavenontwikkeling in het zuidwesten van Nederland.

het rapport verwacht- indien bepaalde zeehaven-projecten in Zeeland en ten zuiden van het Hollands Diep zullen worden gerealiseerd-, dat de uitbreiding

van het zeehaven areaal in Rijnmond kan worden geschat op circa 3000 hectare. Het rapport zegt dan verder letterlijk: "Deze uitbreiding kan tot stand komen in aansluiting op de in uitvoering zijnde Maasvlakte. Het eiland Voorne-Putten zal ongerept moeten blijven. Voor de periode 1968-1980 kan volstaan worden met een vergroting van de goedgekeurde Maasvlakte, met plm. 800 hectare bruto." (eerste fase) De verdere uitbreiding zou moeten plaats vinden in de periode 1980-2000. (tweede fase) Bijlage 1 geeft een overzicht van de verwachtingen van de commissie- Van Aartsen.

I.B. HYDROLOGIE.

Daar men in hevige mate gefïntresseerd is in de gedragingen van de suatiegeul zal over de volgende gegevens moeten worden beschikt:

- 1°. hoeveelheden te spuien water; (zie lit. 2)
- 2°. stroomsnelheden in de geul,
- 3°. tijdsduur waarover gespuid wordt,
- 4°. samenstelling van de bodem in de mond van het Haringvliet (erosiebestendigheid)
(zie lit. 3,4 en 5)

Zijn deze gegevens voor handen, dan kan een beschouwing worden opgezet omtrent de mogelijke erosie of sedimentatie (denk aan het meanderen !) in de suatiegeul.

Daar er vooral sedimentatie plaats vindt in de geul, gedurende perioden dat er niet gespuid wordt dienen tevens berekeningen te worden gemaakt betreffende:

- 5°. slibbeweging tijdens eb en vloed.,
- 6°. sedimenttransport door golven,

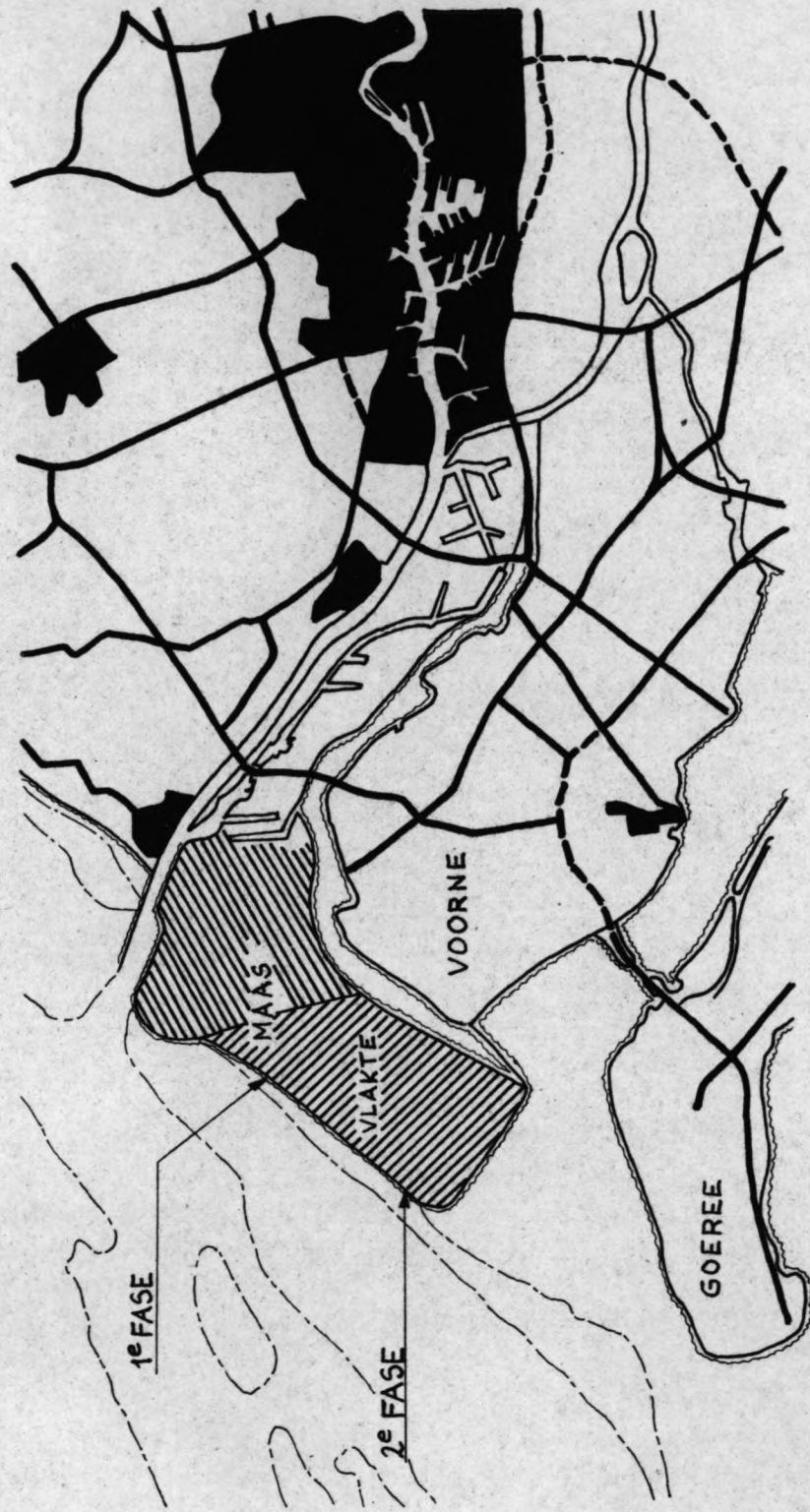
Ten aanzien van factoren als: verzilting, drinkwatervoorziening, vegetatie, landbouw etc. is het van het grootste belang enig inzicht te verkrijgen in:

- 7°. grondwaterstand,- beweging en - kwaliteit voor de gronden gelegen aan de mond van het Haringvliet,
- 8°. de samenstelling (kwaliteit) van het water in het door de dam afgesloten binnenmeer.

I.C. WATERKERING.

In de inleiding werd reeds verondersteld dat het ingrijpen

TOEKOMSTPERSPECTIEF KOMMISSIE - VAN AARTSEN



in het bestaande regiem zal kunnen leiden tot verandering van de bestaande kustvorm. Eén van de meest belangrijke eisen in dit verband is:

- 1^o. De mogelijke erosie van de kust mag niet gepaard gaan met een verzwakking van de waterkering. Om hierover een uitspraak te kunnen doen moet de invloed worden nagegaan van :
 - a. golfwerking,
 - b. getijstromen,
 - c. spuistroom,
 - d. wind,terwijl daarbij tevens rekening moet worden gehouden met:
 - e. de samenstelling van het bodempakket.

- 2^o. Wanneer de in het voorgaande genoemde eisen en verlangens het wenselijk zouden maken om over te gaan tot het projecteren van één of meerdere dammen in het beschouwde bekken (zie bijlage 3), bijvoorbeeld om te komen tot één enkele geul waardoor in belangrijke mate de stabliteit van deze geul wordt bevorderd, dan ontstaat tevens een nog grotere zandvang. In dat geval zal andermaal een onderzoek moeten worden ingesteld met betrekking tot de onder 1^o, a t/m d, genoemde factoren, om inzicht te verkrijgen in de eventuele konsekwenties voor de bestaande waterkering.

- 3^o. Wanneer mocht blijken dat bepaalde kustgedeelten of eventuele nieuwe dammen gevaar lopen geërodeerd te worden, dan zullen deze op afdoende wijze beschermd moeten worden.

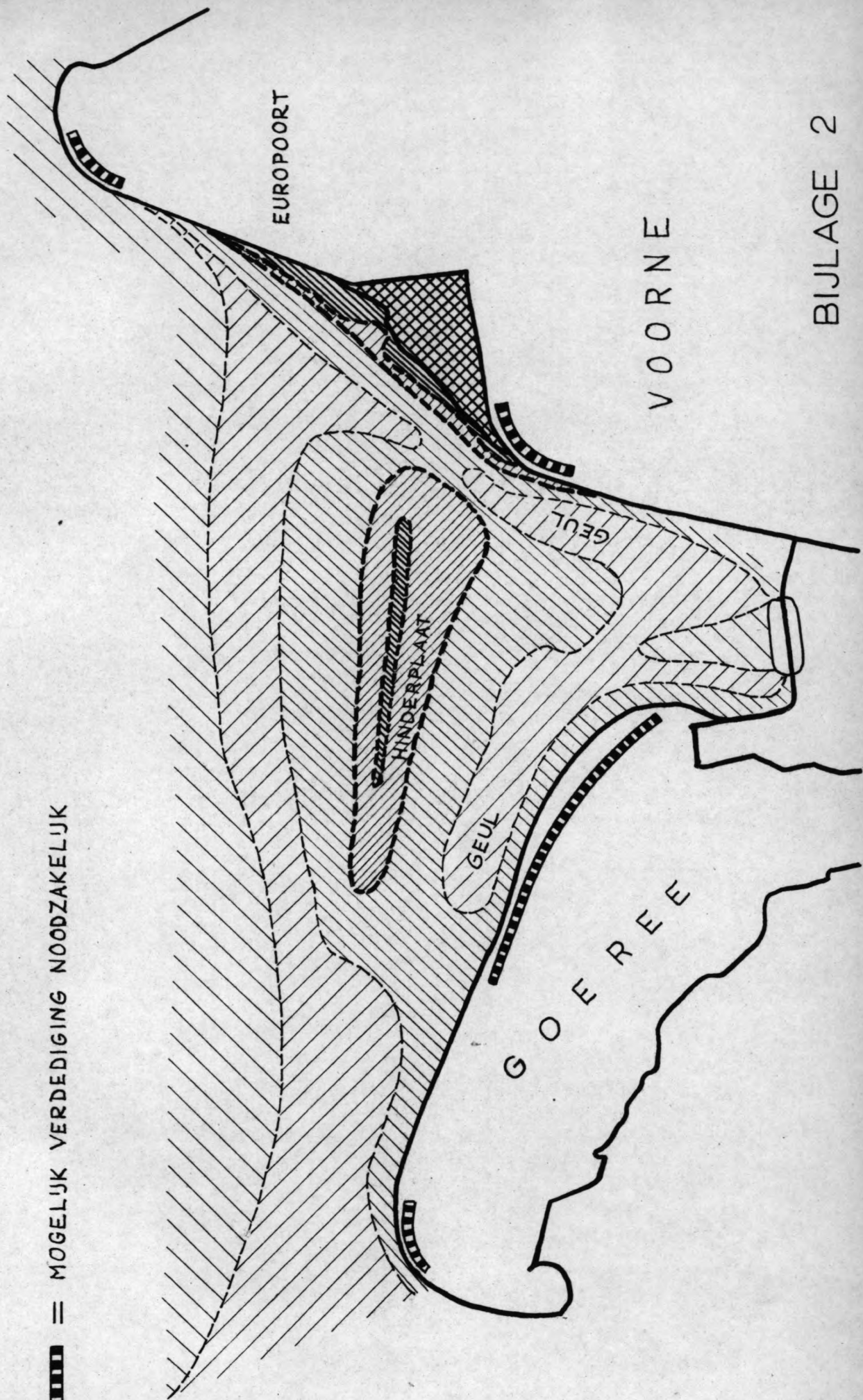
Om een inzicht te verkrijgen in mogelijke nieuwe situaties wordt verwezen naar de bijlagen 2 t/m 4.

Bijlage 2 geeft een beeld van de te verwachten situatie na afsluiting van het Haringvliet en na voltooiing van de Maasvlakte. Duidelijk aangegeven zijn die plaatsen waar mogelijk erosie kan optreden.

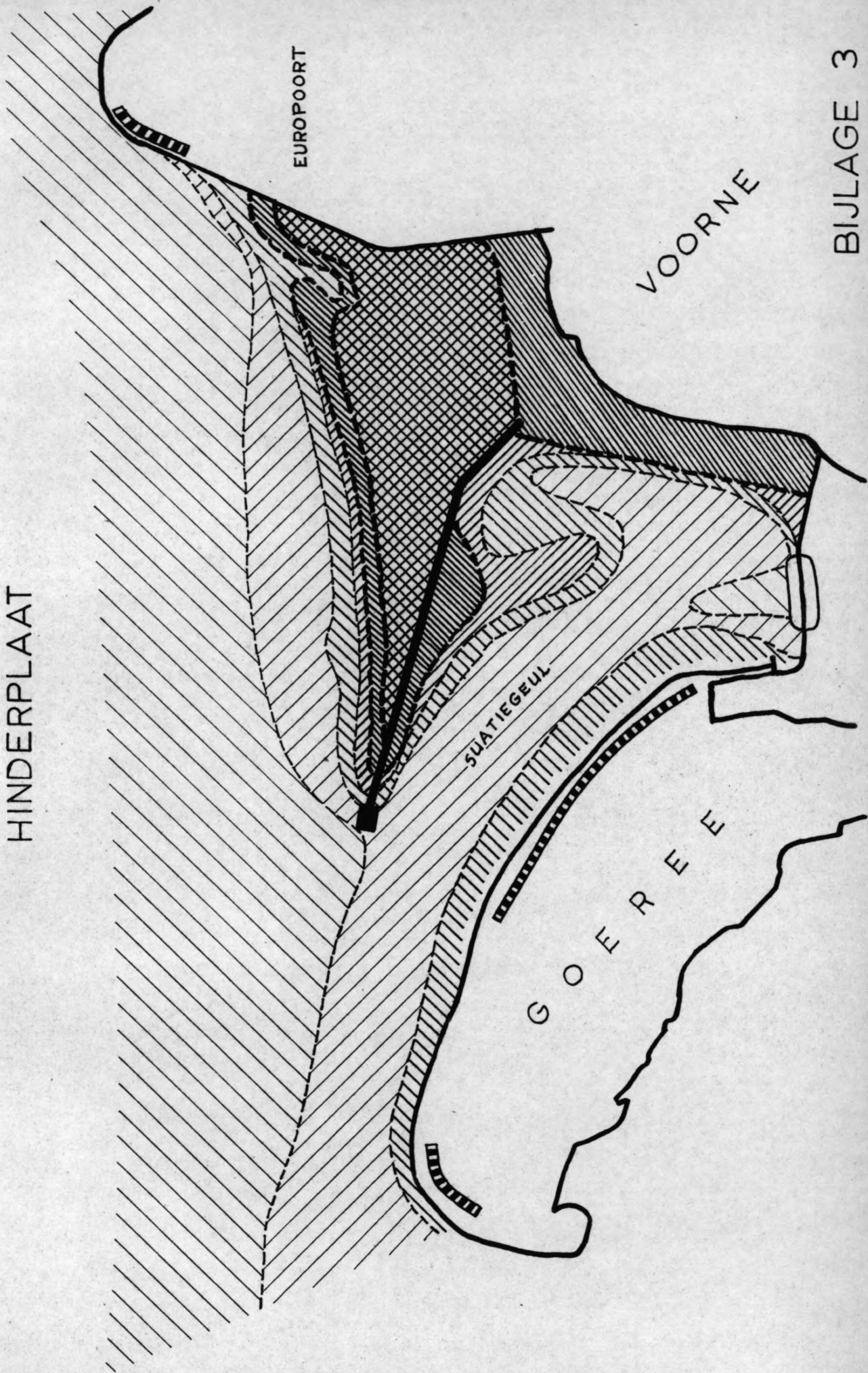
Bijlage 3 veronderstelt de evenwichtssituatie weer te geven na aanleg van de stuifdijk over de hinderplaat.

EVENWICHTSSITUATIE NA AFSLUITING HARINGVLIET

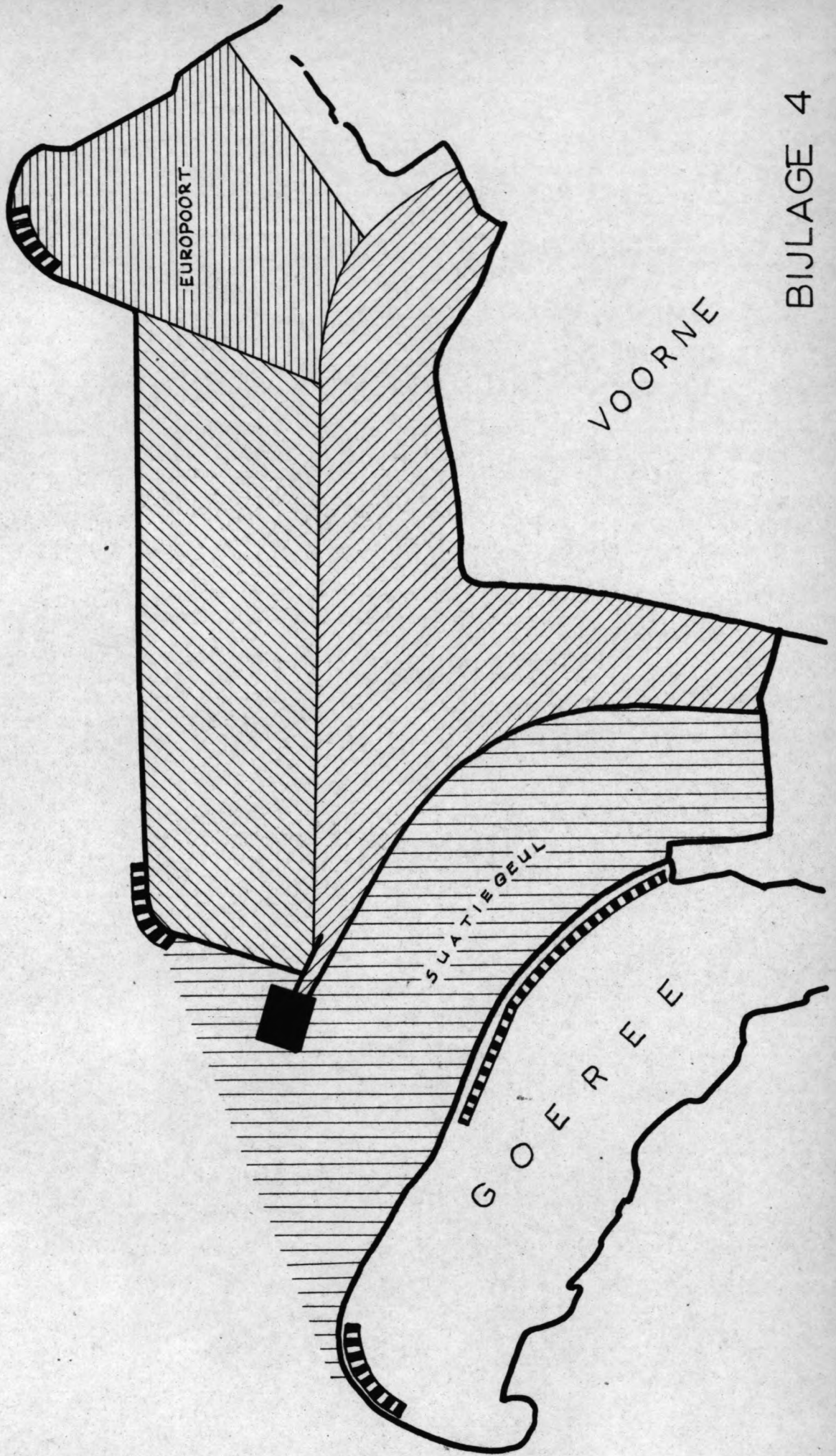
■■■■■ = MOGELIJK VERDEDIGING NOODZAKELIJK



EVENWICHTSSITUATIE NA AANLEG VAN DE STUIFDIJK OVER DE
HINDERPLAAT



ALTERNATIEVE INDELING VAN DE MOND VAN HET HARINGVLIET



Tussen de stuifdijk en de Maasvlakte (Europoort bevind zich nu een grote zandvang. De kustlijn zal zich daardoor in zeewaartse richting kunnen gaan verplaatsen.

Bijlage 4 tenslotte geeft een alternatieve oplossing te zien voor de indeling van de mond van het Haringvliet, overeenkomstig de in het rapport van de kommissie van Aartsen vermelde verwachtingen.

I.D. REKREATIE.

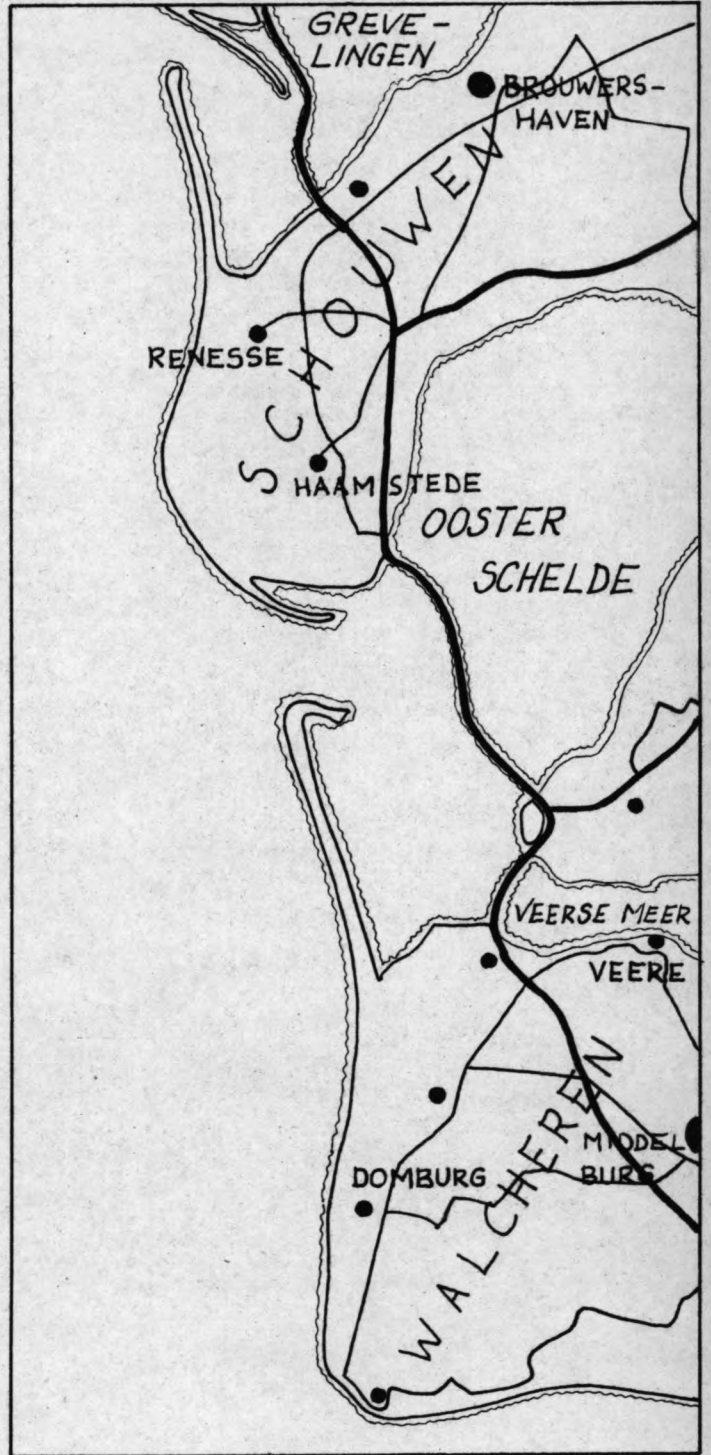
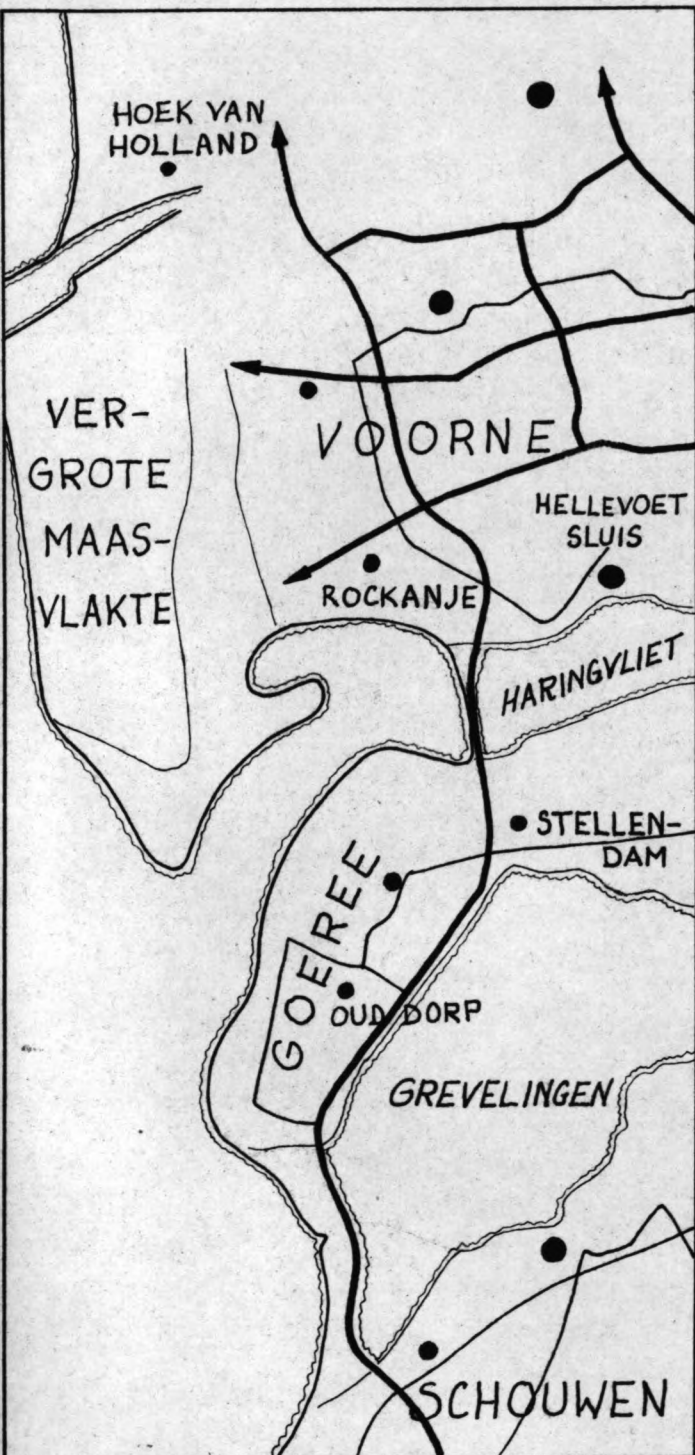
Van verschillende zijden zijn inde loopder jaren bezwaren geuit tegen met name de aanleg van de Maasvlakte II. Nog zeer onlangs werd door de besturen van de Stichting Het Zuid-Hollands landschap en de Vereniging tot behoud van Natuurmonumenten in Nederland gereageerd op de mededeling van het dagelijks bestuur van Rijnmond, dat uitbreiding van de Maasvlakte in zuidelijke richting verantwoord kan worden geacht. Men is buitengewoon bang dat grote schade zal worden aangericht aan de stranden van Rockanje, Nieuw-Helvoet en ten noorden van de Maasvlakte, door de veranderingen welke zullen optreden in het kustverloop en de zeestromingen.

Hoewel dit wantrouwen begrijpelijk is kan niet worden ontkend dat de mogelijke toekomstige situatie zoals deze is geschetst in bijlage 5, grootse perspectieven biedt voor een snelle ontwikkeling van de recreatie op de Zuid-Hollandse en Zeeuwse eilanden. De oevers van de afgesloten bekkens kunnen geschikt gemaakt worden voor massa-recreatie, de drooggevalle platen in het midden voor de stilte-zoekers.

Buiten de dammen zal een vrij woest strandgebied kunnen ontstaan met tot duinen opgestoven zandplaten en zee-inhammen tussen de duinen, de zogenaamde sluffers. Omdat het recreatie-objekten worden van een grootte, die in Nederland onbekend is, wordt erbij Staatsbosbeheer reeds voor gepleit om bepaalde gebieden naar Amerikaans voorbeeld tot een Nederlands Nationaal Park of tot een nationaal kustgebied te verheffen.

In de nabije toekomst zullen dan ook belangrijke beslissingen genomen moeten worden waar het de bestemming van de genoemde gebieden betreft.

REKREATIE MOGELIJKHEDEN SLUFTERS EN BINNENMEREN



I.E.NATUUR.

1^o. De Voornse duinen en de Kwade hoek op Goeree zijn bekende natuurgebieden. Het is duidelijk dat men zal eisen deze gebieden zo veel mogelijk te sparen voor enigerlei invloed van buiten af, zoals:

- a. de samenstelling van de dierenwereld, met name die van de zeevogels zal veranderingen ondergaan,
- b. de grondwaterstand(en) en de waterkwaliteit zullen zich wijzigen, hetgeen wellicht van invloed kan zijn op de bestaande vegetatie.

Dergelijke wijzigingen kunnen rigoreuze, zo niet desastreuze gevolgen opleveren voor het huidige natuurgebied. Vandaar dat gedacht zou kunnen worden aan het handhaven van een strook water tussen de Maasvlakte en de huidige kust:

- 1^o. als een gesloten (zoet) binnenmeer,
- 2^o. als een zout binnenmeer, met een opening naar zee.



GOLVEN

II. SEDIMENTTRANSPORT.

Uit hoofdsuk I is gebleken dat vele factoren een rol spelen bij een ingreep in het regiem langs de kust. Het lijkt dan ook zinnig om eerst de invloed van de natuur op de veranderde situatie aan een nadere beschouwing te onderwerpen.

In ons geval nemen we aan dat die veranderde situatie bestaat uit een voltooide Haringvlietdam en een eveneens voltooide Maasvlakte I. (zie bijlage 1)

De belangrijkste sediment-transporterende krachten aan de kust zijn ongetwijfeld de golven en het getij.

Door H.W.A. Behrens zal voor het betrokken gebied de getij-invloed onder de loupe worden genomen, terwijl schrijver dezes het sediment-transport door golven in een berekening zal trachten te analyseren. Deze berekening zal worden uitgevoerd voor de mond van het Haringvliet, zoals deze was voordat men aan de genoemde kunstwerken begon. Aangenomen wordt dat onmiddellijk na het gereedkomen van de beide werken de refraktieberekening nog steeds van kracht is, zodat door superpositie op het sediment-transport te gevolge van getijstromen een beeld wordt verkregen omtrent het totale zandtransport in die periode, opdat een voorspelling kan worden gedaan ten aanzien van mogelijke toekomstige ontwikkelingen.

II. SEDIMENTTRANSPORT DOOR GOLVEN; TOEGEPASTE METODE.

De berekening zal worden uitgevoerd volgens de methode welke door ir. J.N. Svasek is beschreven in het artikel: Invloed van brekende golven op de stabiliteit van zandige kusten. (zie lit.7)

In de genoemde verhandeling wordt er van uit gegaan dat de golven een hoeveelheid energie naar de kust voeren welke in de brandingszone verloren gaat. Een gedeelte van deze energie veroorzaakt een opwerveling van bodemmateriaal, terwijl een ander gedeelte zorgt voor een plaatselijke verhoging van de potentiële energie van het zeewater bij de kust. Door deze opzet ontstaat een terugstroming van het water door een stelsel van zwinnen en muien.

Het transportvermogen voor sedimenten in suspensie is een gecompliceerde functie van

- de gemiddelde stroomsnelheid,
- de graad van de turbulentie,
- de diepte,
- de eigenschappen van het sediment zelf.

Genoemde transportfunctie heeft een logaritmisch karakter, doch kan voor een grotere graad van turbulentie met een redelijke nauwkeurigheid benaderd worden door een lineair verband met de schuifspanning langs de bodem. Deze schuifspanning is echter een lineaire functie van de kinetische energie van de stroom. Een lineair verband tussen het verlies van de golfenergie en het vermogen om sedimenten te transporteren ligt daarom als een eerste, globale benadering voor de hand.

Het golfbeeld op zee kan samengesteld worden gedacht uit vele sinusgolven, ieder met een eigen periode T_1 , golfhoogte H_1 en golflengte L_1 . De totale energie per eenheid van zeeoppervlak kan dan worden gelijk gesteld aan :

$$E = \sum E_1 = 1/8 \cdot \rho \cdot g \cdot \sum H_1^2$$

In lit.7 wordt dan gesteld dat de totale energie E per oppervlakte-eenheid van een onregelmatig golfbeeld kan worden gelijkgesteld aan de energie van een enkelvoudige sinusgolf met golfhoogte H_s :

$$E = 1/8 \rho \cdot g \cdot \sum H_1^2 = 1/8 \rho \cdot g \cdot H_s^2$$

Hierin is H_s de z.g.n. significante golfhoogte welke gelijkgesteld mag worden met het gemiddelde van het hoogste derde deel van alle golfhoogtes van een golfveld.

het gelegde verband tussen H_1^2 en H_s^2 is echter te betwijfelen.

Uitgaande van de z.g.n. Rayleigh-verdeling kan worden afgeleid dat de volgende betrekkingen gelden:

$$\overline{H^2} = 8 m_0 \quad (\text{kwadraat van de middelbare golfhoogte})$$

$$H_s^2 = 16 m_0$$

Hieruit valt onmiddellijk af te lezen dat:

$$\begin{aligned} E &= 1/8 \rho \cdot g \cdot \sum H_1^2 = 1/8 \rho \cdot g \cdot \overline{H^2} = 1/8 \rho \cdot g \cdot 8 m_0 \\ &= 1/16 \rho \cdot g \cdot 16 \cdot m_0 = 1/16 \rho \cdot g \cdot H_s^2 \end{aligned}$$

De golven veroorzaken dus een energiestroom, waarvan het

vermogen per eenheid van golfkambreedte bedraagt

$$N_b = E \cdot C_g = E \cdot n \cdot C_a$$

In ondiep water is n bij benadering gelijk aan 1, zodat

$$N_b = 1/16 \rho \cdot g \cdot H_s^2 \cdot C_k$$

Hierin is C_k de kenmerkende groepssnelheid welke is afgeleid van de kenmerkende golfperiode T_k .

Uit radarwaarnemingen van de Noordzee is gebleken dat refraktieberekeningen goed overeenstemmen met het waargenomen beeld, indien daarbij langere perioden T_k werden gebruikt dan de gemiddelde perioden T_m , die uit registraties bepaald kunnen worden. Gevonden is het volgende empirische verband:

$$T_k = 1,2 T_m$$

Het mag ten zeerste in twijfel worden getrokken of deze aanname, welke betrekking heeft op het visuele refraktiepatroon, ook als zodanig mag worden gebruikt voor de bepaling van N_b .

In een deelontwerp vloeistofmechanica is dan ook een andere werkwijze gevolgd. Daarbij werd T_k bepaald uit een vergelijking van de resp. gegevens van het L.S.Goeree en het booreiland Triton met het bekende spectrum van Neumann. Deze T_k werd gevonden voor iedere H_{goeree} - golfgroep. Door aan de diverse T_k 's het gewicht van de golfhoogte in het kwadraat en de frekwentie toe te kennen werd tenslotte een T_{eq} gevonden, waarmee de transportcapaciteit werd bepaald. Zie voor nadere beschrijving hoofdstuk II.B.

Wanneer we de refraktie in rekening brengen dan bedraagt de specifieke energiestroom per eenheid van kustlengte

$$N = N_{bo} \cos \varphi \cdot k_a$$

Het transportvermogen evenwijdig aan de kust wordt dan gevonden uit

$$Q_s = \alpha_s \cdot N_{bo} \cdot k_a \cdot \sin 2 \varphi_a$$

waarbij alle konstante factoren in α_s zijn samengevat.

De plaats van de brandingszône in het profiel van de kust is hoofdzakelijk afhankelijk van de golfhoogte. Er is namelijk een lineaire betrekking tussen de maximale brekerhoogte H_{br} en de bijbehorende waterdiepte a_{br} :

$$H_{br} = \gamma a_{br}$$

Bij regelmatige golven wordt voor γ gevonden:

$$0,7 < \gamma < 0,8 \text{ (zie lit.8)}$$

De invloed van de waterdiepte op de branding van de golven en daardoor op het energieverlies is één van de grondslagen voor de verdere beschouwingen. Uit metingen blijkt namelijk dat ook het begin van het breken van de golftoppen de verdeling van de golfhoo^gte door de theoretische Rayleigh-verdeling met voldoende nauwkeurigheid kan worden weergegeven en dat er een redelijk lineair verband bestaat tussen de significante golfhoogte $H_{s,br}$ en de waterdiepte a_{br} in de breker - zone met waarden van γ :

$$0,3 < \gamma_s < 0,5$$

Veronderstellen we nu : $H_{s,br} = 0,4 a_{br}$ dan wordt gevonden:

$$E_{br} = 1/16 \cdot \rho \cdot g \cdot (0,4 a_{br})^2 \approx \frac{\rho g}{100} \cdot a_{br}^2$$

De grootste energiestroom die de dieptelijn a tussen de energie stralen met onderlinge afstand b_a kan passeren wordt dan:

$$N_a \cdot b_a = \frac{\rho g}{100} \cdot a^2 \cdot C_{ka} \cdot b_a$$

Tussen twee dieptelijnen gaat een deel $\Delta N \cdot b$ van de energiestroom $N_a \cdot b_a$ verloren door branding:

$$[\Delta N \cdot b]_{i,i+1} = \frac{\rho g}{100} [a_i^2 \cdot C_{k,i} \cdot b_i - a_{i+1}^2 \cdot C_{k,i+1} \cdot b_{i+1}]$$

Per eenheid van kustlengte kan de component van het energieverlies tussen de twee dieptelijnen a_i en a_{i+1} , evenwijdig aan de kust worden bepaald door:

$$[\Delta N_s]_{i,i+1} = \frac{\rho g}{100} [a_i^2 \cdot C_{k,i} \cdot \frac{b_i}{b_m} \cdot \frac{1}{2} \sin 2\varphi_i - a_{i+1}^2 \cdot C_{k,i+1} \cdot \frac{b_{i+1}}{b_m} \cdot \frac{1}{2} \sin 2\varphi_{i+1}]$$

Het transportvermogen tussen de dieptelijnen a_i en a_{i+1} evenwijdig aan de kust bedraagt nu:

$$[Q_s]_{i,i+1} = \beta_s \left[\frac{a_i^2 \cdot C_{k,i}}{k_i} - \frac{a_{i+1}^2 \cdot C_{k,i+1}}{k_{i+1}} \right] (k_m \sin 2\varphi_m)_{i,i+1}$$

Daar de oorspronkelijke energiestroom N_o op diep water groter

moet zijn dan de energiestroom N_a op de dieptelijn a_{br} , opdat er branding kan optreden, geldt de kritische voorwaarde:

$$N_o \geq \frac{1/16 \rho \cdot g \cdot (0,4 a_{br})^2 C_{ka}}{k_a} = N_a$$

De kritische golfhoogte bedraagt nu:

$$[H_{cr}]_a = 0,4 a \sqrt{\frac{C_{ka}}{C_{k_o} \cdot k_a}}$$

Met behulp van dit criterium is het nu mogelijk om te berekenen welk percentage golven een bepaalde dieptelijn passeert.

Is nu bekend dat deze percentages voor de dieptelijnen a_i en a_{i+1} resp q_i en q_{i+1} bedragen, dan kan over een tijdsinterval T_j het transportvermogen evenwijdig aan de kust worden bepaald door:

$$[Q_s]_{i,i+1} = \beta_s \left[\frac{a_i^2 \cdot C_{ki}}{k_i} - \frac{a_{i+1}^2 \cdot C_{k,i+1}}{k_{i+1}} \right] \cdot (k_m \cdot \sin 2\varphi_m)_{i,i+1} \cdot$$

$$\cdot \frac{q_i + q_{i+1}}{200} \cdot T_j$$

Hiermee is de transportfunctie voor iedere dieptelijn bekend. Erosie en sedimentatie tussen de dieptelijnen a_i en a_{i+1} kunnen worden berekend uit de afgeleide van de transportfunctie; omdat we gaarne de aanzanding resp. verdieping willen weten tussen de beidedieptelijnen kan de uitkomst nogmaals gedeeld worden door B (afstand tussen beide dieptelijnen)

De verdieping resp. verhoging van de bodem wordt aldus bepaald door de afgeleide:

$$\frac{1}{B} \cdot \frac{\delta Q_s}{\delta s}$$

II. B. SEDIMENTTRANSPORT DOOR GOLVEN; BEPALING VAN DE EQUIVALENTE PERIODE.

Met behulp van de in hoofdstuk II A beschreven methode is in een deelontwerp vloeistofmechanica de zandbeweging in de mond van het Haringvliet berekend zoals deze wordt veroorzaakt door de komponent van de energiestroom evenwijdig met de kust (In een gekompliceerd gebied als de mond van het Haringvliet is het misschien beter te spreken van: evenwijdig aan de dieptelijnen)

Zoals in het voorgaande reeds werd opgemerkt is één van de moeilijke problemen het bepalen van een goede representatieve golfperiode. Bij de uitgevoerde berekeningen werd dan ook afgeweken van de in lit. 7 gedane suggestie om T_k te bepalen volgens:

$$T_k = 1,2 T_m$$

Uitgangspunt zijn de visuele waarnemingen van het L.S.Goeree. Deze dienen als basis voor de jaargemiddelden.

De "ijking" van H_G en T_G is mogelijk door korrelatie met simultane waarnemingen op het booreiland Triton, zoals uitgevoerd is in Nota K-288 met het resultaat:

$$H_G \approx 1,45 H_{1/3} \text{ TRITON}$$

voor de relevante windrichtingen. In het volgende zal worden gesteld dat

$$H_{1/3} \text{ TRITON} = H_{1/3} \text{ GOEREE} \text{ en}$$

$$T_m \text{ TRITON} = T_m \text{ GOEREE} = T_m$$

Dan is $H_G \approx 1,45 H_{1/3}$

Hieruit volgt dat men op Goeree alleen de hogere golven (met overschrijdingsfrequentie $\approx 2\%$) "waarneemt".

In Nota K 288 wordt geen korrelatie $T_G - T_m$ gegeven.

Aannemende dat ook voor de periode slechts de hoogste golven zijn geteld dan zal T_G in de buurt liggen van de spectrale periode van maximum energiedichtheid, $T_{s,max}$.

Een nauwkeuriger bepaling is mogelijk door gebruik te maken van de bekende $H_{1/3} - T_m$ betrekkingen, gemeten op Triton, zoals b.v. gegeven in figuur 12 van Nota K-304 van Koelé. Daarin is weergegeven het gemiddelde T_m van waargenomen T_m - waarden per interval van $H_{1/3}$.

De Goeree gegevens werden in het deelontwerp op dezelfde manier geanalyseerd, hetgeen een betrekking $H_G - T_G$ opleverde (zie deelontwerp vloeistofmechanica, bijl. 2 t/m 18)

Verder is gebruik gemaakt van $H_G = 1,45 H_{1/3}$, zodat de relatie $T_G - T_m$ is bepaald. (zie bijlage 6)

Aldus wordt gevonden $T_G = 1,50 T_m$.

10¹

+ H_g vs \bar{T}_m ; Triton volgens Fig 12 Nota K 304

— H_{1/3} vs T_m; PNJ ($H_{1/3} = 0,033 T_m^{5/2}$)

⊙ 0,69 H_G vs \bar{T}_G ; GOEREE

— Rechte lijn door ⊙ :

$$H_{1/3} = 0,0119 \bar{T}_G^{5/2}$$

$$\text{of } H_{1/3} = 0,033 \left(\frac{\bar{T}_G}{1,50} \right)^{5/2}$$

H_{1/3}
(m) ↑

10⁰

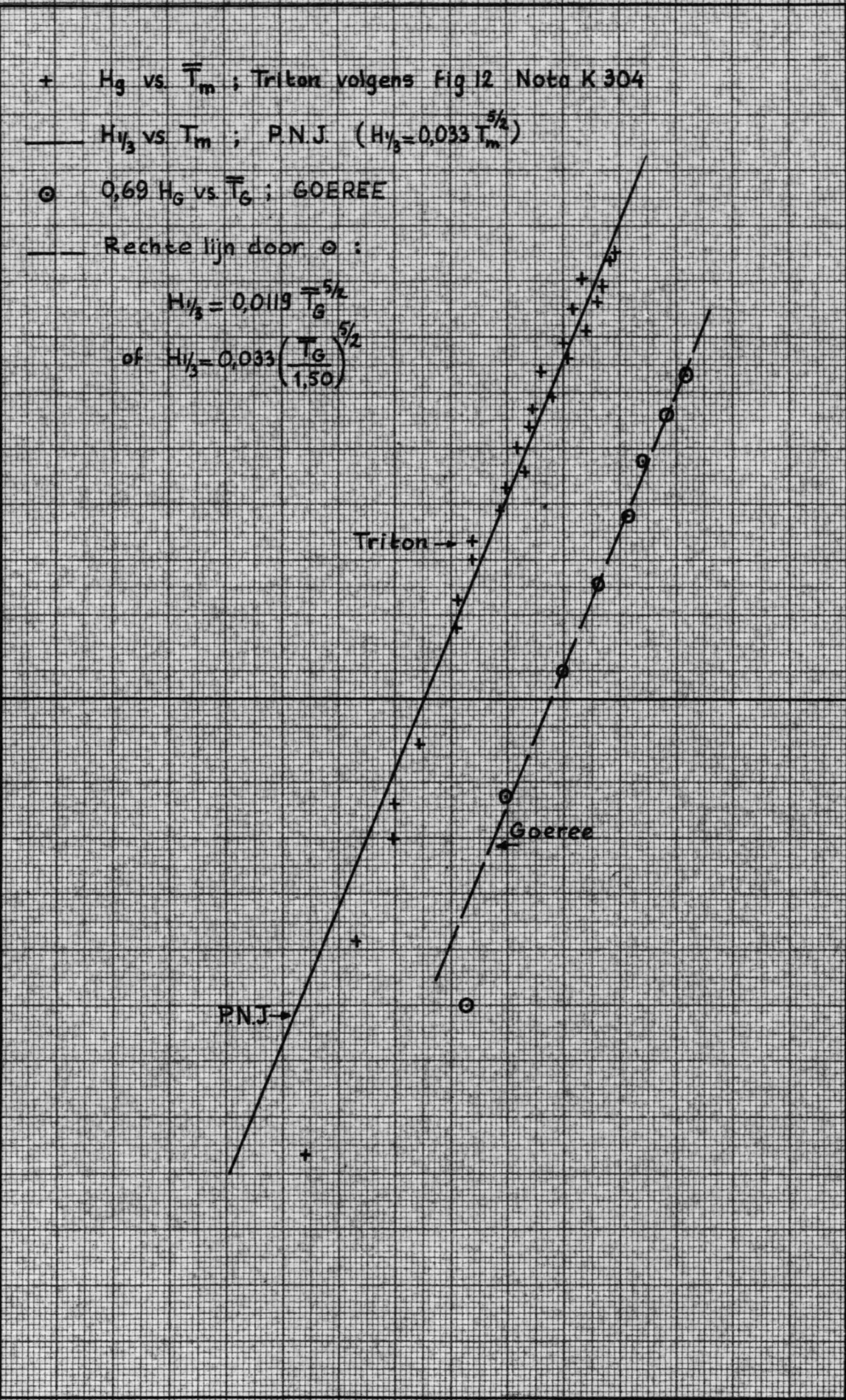
Triton → +

Goeree ← ⊙

PNJ → +

10⁻¹

→ T (sec)



Een direkte korrelatie tussen T_G en T_{TRITON} is te verkiezen boven de hier gevolgde methode, doch de benodigde gegevens waren niet beschikbaar.

In Nota K-304 wordt een spektrumvorm

$$S(\omega) = A \omega^6 e^{-B\omega^{-2}} \dots\dots\dots(1)$$

Genoemd als een praktisch bruikbare vorm van de gemeten spektra. Houden we (1) aan en ook $T_m = 2\pi \sqrt{m_0/m_2}$ dan geldt $T_{s,max} = \sqrt{2} \cdot T_m$, zodat dan $T_G = 1,50 T_M = 1,50 T_{s,max} \cdot \sqrt{2} = 1,06 T_{s,max}$. Inderdaad ligt T_G in de buurt van $T_{s,max}$:

Met betrekking tot de vorm van $S(\omega)$ kunnen we de volgende opmerking maken. De vorm (1) is gelijkvormig aan het Neumann spektrum voor volgroeide zeeegang. Het is interessant om het verband na te gaan tussen (1) en het Neumann spektrum.

Bij het groeien van golven is volgens Pierson, Neumann, James en vele anderen alleen de coëfficiënt B afhankelijk van de windsterkte, duur en strijklengte; A is konstant. De Triton-spektra behoeven niet alle spektra van volgroeide zeeegang te zijn geweest, zodat het niet zinvol is om de coëfficiënt B met die van Neumann te vergelijken. Maar de betrekking $H_{1/3} - T_m$ is afhankelijk van B, want stelt men $H_{1/3} = 4\sqrt{m_0}$ en $T_m = 2\pi \sqrt{m_0/m_2}$ dan is

$$H_{1/3} = \frac{A^{1/2}}{\pi^2 \sqrt{6^3 \pi}} \cdot T_m^{5/2}$$

De betrekking tussen $H_{1/3}$ en T_m in zeeegang is in deze gedachtengang dus onafhankelijk van de mate van volgroeid zijn van de zeeegang en het is daarom wel zinvol om de betrekking $H_{1/3} - T_m$, gemeten op Triton, te vergelijken met die van Pierson, Neumann, James. (zie eveneens bijlage 6)

Het blijkt dat $H_{1/3}$ evenredig is met $T^{5/2}$ (behalve voor lagere golven) wat een bevestiging is van de ω^{-6} faktor in (1).

Verder blijkt dat A_{TRITON} praktisch dezelfde geweest moet zijn als die van Neumann, ondanks de beperkte diepte.

Het is de bedoeling een enkele golfperiode te bepalen die "zo goed mogelijk" representatief kan worden genoemd voor een golfbeeld waarvan het gedrag bij refraktie wordt bestudeerd,

Men kan daarbij verschillende criteria invoeren. Een logische keus is het criterium dat de energie per oppervlakte-eenheid en het energietransport per m^1 van de enkelvoudige golf gelijk moeten zijn aan die van het golfbeeld. De overeenkomstige periode noemen we kenmerkend. Het "kenmerkend" heeft uiteraard alleen betrekking op energie en energietransport; er wordt niet gepretendeerd dat de refraktie van de samengestelde golfbeweging dezelfde zou zijn als die van een enkelvoudige golf met periode T_k .

Zij gegeven een golfbeeld met spektrum $S(\omega)$ in water van diepte d ; dan is per definitie:

$$C_{g \text{ eq}} = \frac{\int_0^\infty C_g(\omega, d) \cdot S(\omega) d\omega}{\int_0^\infty S(\omega) d\omega} \dots\dots\dots(2)$$

Op grond van het hierboven gememoreerde wordt voor $S(\omega)$ de vorm (1) gebruikt. Voor beperkte diepte vindt men geen gesloten uitdrukking voor $C_{g \text{ eq}}$. Onderstelt men echter d voldoende groot, zodat bij benadering geldt

$$C_g(\omega, d) \simeq C_{g0}(\omega) = \frac{E}{2\omega} \quad \text{dan is}$$

$$C_{g \text{ eq}} = \frac{E}{2\omega_{\text{eq}}} = \frac{E/2 \cdot \int_0^\infty \omega^{-1} S(\omega) d\omega}{\int_0^\infty S(\omega) d\omega} = \frac{E}{2} \cdot \frac{m-1}{m_0}$$

ofwel $T_k = 2\pi \frac{m-1}{m}$

zodat $\frac{T_k}{T_m} = \frac{m-1}{m_0} \cdot \sqrt{\frac{m_0}{m}}$

Substitutie van (1) levert:

$$\frac{T_k}{T_m} = \frac{16}{3\sqrt{6\pi}} = 1,23$$

De faktor 1,23 geldt voor diep water. Voor een spektrum van gegeven vorm zal T_k/T_m in het algemeen een functie zijn van $d/g \cdot T_m^2$. Is het spektrum van de vorm (1) dan is T_k/T_m dus een functie van $B \cdot d/g$.

Voor een groot deel van de waarnemingen van Goeree kan wel 1,23 worden aangehouden vanwege de prevalenties van lage periodes.

Een resultaat van metingen bij Katwijk 1962 was dat voor refraktieberekeningen een periode van $1,20 T_m$ à $1,26 T_m$ het beste was. De goede overeenstemming van de hier berekende faktor 1,23 met de faktor 1,20 à 1,26 is waarschijnlijk ten

dele toevallig, gezien bovenstaande opmerkingen.

Zij f het aantal waarnemingen gedurende enkele jaren van combinaties van H_G, T_G en θ_G binnen zekere intervallen.

Per richtingsinterval en per hoogteinterval kan de gemiddelde periode \tilde{T}_G worden bepaald.

Daarmee komt overeen een $\tilde{T}_k = 1,23 \tilde{T}_m = \frac{1,23}{1,50} \tilde{T}_G = 0,82 \tilde{T}_G$.

Uit de gegeven diepte (22 m) en \tilde{T}_k is een \tilde{C}_{gk} te berekenen.

Per definitie wordt gesteld:

$$\tilde{C}_{g \text{ eq}} = \frac{\sum H_G^2 \cdot \tilde{C}_{gk} \cdot f}{\sum H_G^2 \cdot f}$$

Uit $d = 22 \text{ m}$ en $\tilde{C}_{g \text{ eq}}$ volgt dan een equivalente periode:

T_{eq} .

In het deelontwerp vloeistofmechanica zijn voor enige richtingen van West tot Noord waarden gevonden voor \tilde{T}_{eq} van 5,8 sec tot 6,4 sec. Hierbij is de beperkte diepte niet in rekening gebracht in de koëfficiënt 1,23.

Het is mogelijk een verbeterde versie te berekenen, waarvoor het nodig is om de teller in (2) te bepalen door numerieke integratie voor een aantal waarden van $d/g \cdot T_m^2$.

Met de aldus bepaalde \tilde{T}_{eq} kan de berekening worden uitgevoerd op de wijze als in hoofdstuk II A werd beschreven.

In het deelontwerp is één en ander gebeurd. Uitgerekend werd tenslotte de aanzanding resp. erosie in m^3/m^2 , met dien verstande dat de konstante evenredigheidsfaktor β_s en het tijdsinterval T_j als onbekenden in de uitkomsten zijn blijven zitten. In hoofdstuk III wordt getracht de waarde van β_s te benaderen.

III. BEPALING VAN DE EVENREDIGHEIDSKONSTANTE β_s .

Zoals in het voorgaande is gememoreerd werd in het deelontwerp de relatieve sediment-verplaatsing bepaald. Daarbij bleek het onmogelijk om de konstante faktor β_s rechtstreeks te bepalen. Daar echter door Rijkswaterstaat een groot aantal raaimetingen zijn verricht over een reeks van jaren, is het mogelijk langs deze empirische weg β_s te bepalen (zie lit. 1.)

Daartoe moest worden uitgezien naar een gebied waar de morfologische veranderingen voor het belangrijkste deel kunnen worden toegeschreven aan de werking der golven. De omgeving van de Westplaat, met name aan de zeezijde, is zo'n gebied waar de invloed van de getijstromen relatief klein is. Dit blijkt ondermeer uit beschikbare stromingskaarten.

Gedurende een groot aantal jaren zijn in een twintigtal raaien (zie bijlage 7) de veranderingen van de profielen periodiek opgemeten. De in dit ontwerp gebruikte kaart blijkt, v.w.b. de Westplaat, te zijn getekend naar gegevens van 1958. Om die reden worden de berekende sedimentverplaatsingen vergeleken met de inhoudsveranderingen van de raaien over de periode 20 juni 1958 - 20 april 1959, hetgeen ons de waarde oplevert van T_j :

$$T_j = 304 \text{ dagen} = 26,3 \times 10^6 \text{ sec.}$$

In onder staande tabel I zijn de benodigde waarden weergegeven van

$$\frac{\partial Q_{1000m}}{\partial S} \cdot \frac{1}{\beta_s \cdot T_j}$$

Hier in is $\frac{\partial Q_{1000m}}{\partial S}$ de aanzanding resp. erosie, uitgedrukt in m^3 per m kust. In het deelontwerp (tabel XVII) werden de bovenvermelde waarden nog gedeeld door B (afstand tussen twee dieptelijnen) om zodoende de profielsverandering uitgedrukt te krijgen in m^3 per m^2 bodemoppervlak.

Boven de desbetreffende tabel XVII staat vermeld dat de voorkomende waarden moeten worden vermenigvuldigd met 10^{-3} . Dit moet echter 10^{-7} zijn daar in lit. 7 bij de bepaling van Q_s een faktor 100 in de teller i.p.v. in de noemer is terecht gekomen. Daardoor zou β_s een faktor 10^4 te klein

worden ! Deze korrektie is in onderstaande tabel aangebracht. Omdat hier niet wordt gedeeld door B moeten de vermelde waarden worden vermenigvuldigd met 10^{-4} inplaats van met 10^{-7} .

Tabel I: Erosie en sedimentatie: $\frac{\delta Q_{1000m}}{\delta S} \cdot \frac{1}{\beta_s \cdot T_j}$

Alle waarden te vermenigvuldigen met 10^{-4}

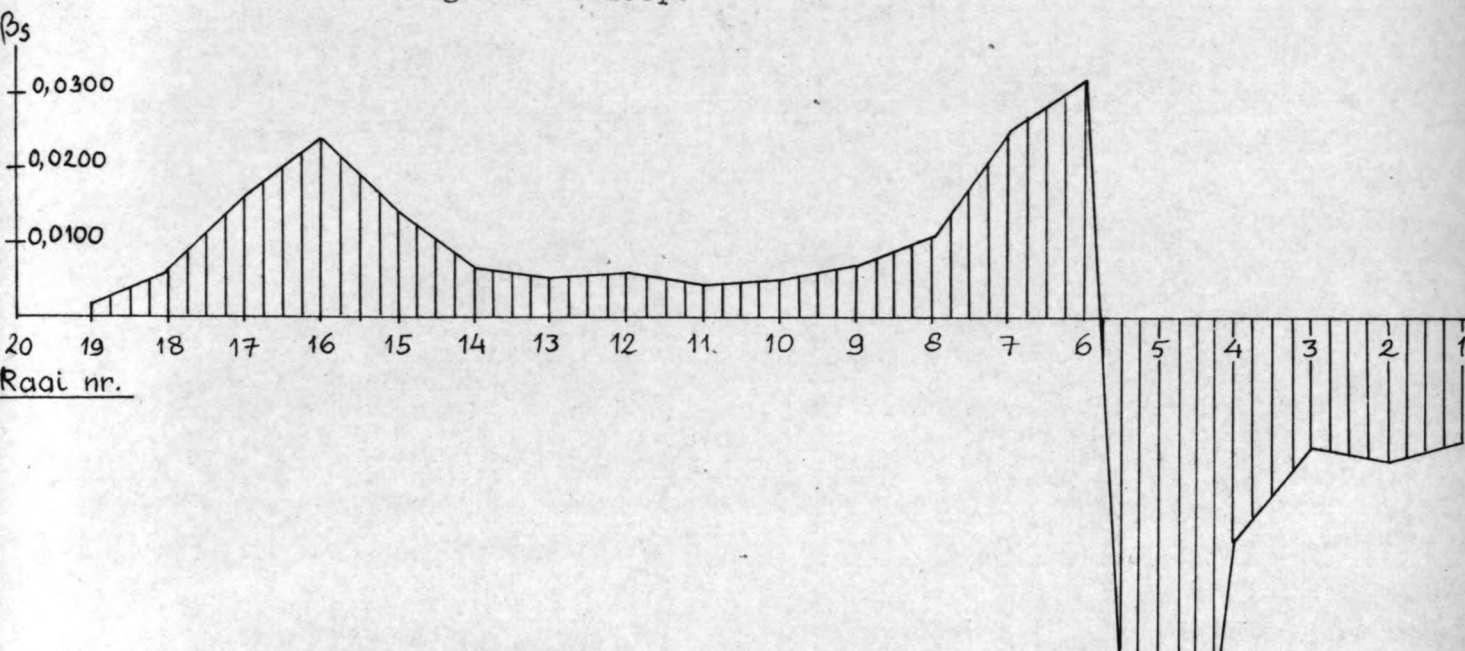
km verdeling	dieptestr. 0-1m ⁻	dieptestr. 1-2m ⁻	km verdeling	dieptestr. 2-3m ⁻
0	-	-	8,0	-
0,5	-	-	8,5	- 5,484
1,0	-	- 0,886	9,0	- 5,032
1,5	+ 0,630	- 4,494	9,5	- 5,742
2,0	+ 1,212	- 3,692	10,0	- 7,942
2,5	- 0,348	- 6,270	10,5	- 0,064
3,0	- 1,588	- 7,880	11,0	+ 1,266
3,5	- 0,998	- 2,742	11,5	+ 3,940
4,0	- 0,406	- 1,822	12,0	+ 3,744
4,5	- 0,006	+ 0,634	12,5	- 2,726
5,0	+ 0,080	+ 0,092		

We kunnen nu door middeling van de overeenkomstige waarden uit bovenstaande tabel de profielsveranderingen van de raaien berekenen, per strekkende meterkust, over een periode $T_j = 26,3 \times 10^6$ sec. In tabel II worden deze waarden vergeleken met de uit tekening A3 Nr. 59.390 (Rijkswaterstaat, Delta-dienst, waterloopkundige afdeling) (zie lit 1) bepaald profielsveranderingen over de periode 20 juni 1958-20 april 1959. Uit deze vergelijking is β_s op eenvoudige wijze op te lossen.

Tabel II. Bepaling van β_s

Raai nr.	Berekende inhoudsverandering beneden N.A.P. in m ³ per m' kust.	idem gemeten	β_s [sec. m ² /kg]
1	$(+0,080+0,092+\frac{100}{340} \times 3,744) \cdot 2630 \beta_{s,1} = +3350 \beta_{s,1}$	- 55	-0,0164
2	$(+0,037+0,092+\frac{120}{330} \times 3,744) \cdot 2630 \beta_{s,2} = +3920 \beta_{s,2}$	- 75	-0,0191
3	$(-0,006+0,634+\frac{120}{300} \times 3,744) \cdot 2630 \beta_{s,3} = +5590 \beta_{s,3}$	- 95	-0,0170
4	$(-0,006+0,634+\frac{90}{270} \times 3,940) \cdot 2630 \beta_{s,4} = +5100 \beta_{s,4}$	-150	-0,0294
5	$(-0,406-0,594+\frac{80}{250} \times 3,940) \cdot 2630 \beta_{s,5} = +680 \beta_{s,5}$	- 95	-0,1376
6	$(-0,406-1,822+\frac{75}{240} \times 1,266) \cdot 2630 \beta_{s,6} = -4820 \beta_{s,6}$	-155	+0,0321
7	$(-0,702-1,822+\frac{70}{230} \times 1,266) \cdot 2630 \beta_{s,7} = -5620 \beta_{s,7}$	-140	+0,0249
8	$(-0,998-2,742+\frac{55}{210} \times 0,601) \cdot 2630 \beta_{s,8} = -9430 \beta_{s,8}$	-105	+0,0111
9	$(-0,998-2,742-\frac{50}{210} \times 0,064) \cdot 2630 \beta_{s,9} = -9880 \beta_{s,9}$	- 65	+0,0066
10	$(-1,588-2,742-\frac{40}{210} \times 0,064) \cdot 2630 \beta_{s,10} = -11410 \beta_{s,10}$	- 55	+0,0048
11	$(-1,588-7,880-\frac{45}{220} \times 7,942) \cdot 2630 \beta_{s,11} = -29190 \beta_{s,11}$	-110	+0,0038
12	$(-1,588-7,880-\frac{55}{240} \times 7,942) \cdot 2630 \beta_{s,12} = -29680 \beta_{s,12}$	-170	+0,0057
13	$(-0,348-6,270-\frac{45}{250} \times 6,842) \cdot 2630 \beta_{s,13} = -20630 \beta_{s,13}$	-100	+0,0048
14	$(-0,348-6,270-\frac{35}{260} \times 5,742) \cdot 2630 \beta_{s,14} = -19450 \beta_{s,14}$	-120	+0,0062
15	$(+1,212-5,481-\frac{40}{280} \times 5,089) \cdot 2630 \beta_{s,15} = -13390 \beta_{s,15}$	-185	+0,0138
16	$(+1,212-3,692-\frac{75}{295} \times 5,032) \cdot 2630 \beta_{s,16} = -8980 \beta_{s,16}$	-215	+0,0239
17	$(+0,921-3,692-\frac{75}{315} \times 5,032) \cdot 2630 \beta_{s,17} = -10430 \beta_{s,17}$	-170	+0,0163
18	$(+0,630-4,494-\frac{300}{400} \times 5,258) \cdot 2630 \beta_{s,18} = -22350 \beta_{s,18}$	-135	+0,0063
19	$(+0,630-4,494-\frac{340}{355} \times 5,484) \cdot 2630 \beta_{s,19} = -24000 \beta_{s,19}$	- 45	+0,0019
20	-----	+ 20	--

Grafisch weergegeven vertonen de diverse β -waarden het volgende verloop:



Ten aanzien van de waarden kunnen de volgende opmerkingen worden geplaatst:

Ter plaatse van de koppen van de Westplaat wijken de gevonden β 's in sterke mate af van die welke in het midden van de plaat zijn bepaald.

Aan de Noord-zijde (raaien 1 t/m 5) wordt β_s zelfs negatief hetgeen uiteraard onbestaanbaar is. Hiervoor kunnen een tweetal oorzaken worden aangevoerd:

- a. Aan weerszijden van de Westplaat bevinden zich geulen waar de getijstroom een relatief grote invloed zullen uitoefenen op het totale zandtransport. Verwacht mag worden dat deze invloed voldoende groot is om β een sterk afwijkende - en dus onbruikbare - waarde te geven.
- b. Door de geometrie van de bodem bleek het met name aan de kopeinden van de Westplaat moeilijk om duidelijk refraktielijnen te konstrueren, en zo deze konstruktie wel uitvoerbaar was dan bleek het vaak zeer moeilijk om grootheden als b en φ te bepalen. Slechts het zandtransport in de raaien 13 en 14 kan worden berekend voor alle 5 beschouwde windrichtingen.

In de raaien 9 t/m 12 en 15 kon het zandtransport worden bepaald voor tenminste 4 windrichtingen. In alle overige raaien werden minder dan 4 richtingen samengesteld. In deze raaien speelt de toevalligheidsfaktor een zeer grote rol, want ontbreken er van de vijf beschouwde richtingen W, WNW, NW, NNW en N bijvoorbeeld de laatste twee, dan komt een veel te zwaar accent te liggen op het sedimenttransport in noordelijke richting.

Hieruit moge blijken dat aan de β_s -waarden in het midden van de Westplaat de grootste waarde kan worden toegekend. Beschouwen ^{we} slechts de raaien 13 en 14 dan bedraagt de gemiddelde waarde van β_s :

$$\beta_{s, \text{gem}} = 0,0055$$

Wordt echter het gemiddelde genomen over de raaien 9 t/m 15 dan vinden we :

$$\beta_{s, \text{gem}} = 0,0064$$

Binnen het kader van de mogelijke nauwkeurigheid lijkt het daarom zinvol om β_s voor het gehele gebied te bepalen op:

$$\beta_s = 0,006 \left[\frac{\text{sec. m}^2}{\text{kg}} \right]$$

IV KONTROLE SEDIMENTTRANSPORT-BEREKENING.

Nu de β_s bepaald is kunnen we de sedimentverplaatsing door golven, evenwijdig aan de kust, voor het gehele Haringvlietgebied bepalen. Dit is echter pas zinvol wanneer kan worden aangetoond dat de hypothese, welke er van uit gaat dat het totale sedimenttransport kan worden opgevat als een superpositie van golf- en getijinvloed, juist is. Om die reden werd door H.W.A. Behrens een onderzoek ingesteld naar de sedimentbeweging door getijstromen voor de ongestoorde Haringvliet-mond.

Daar uitgebreide meetgegevens beschikbaar zijn van de kust van Goeree (zie lit. 11) is het voor de hand liggend dat voor dit gebied een controleberekening wordt uitgevoerd.

Daarbij zal de volgende werkwijze worden toegepast:

Allereerst worden de benodigde waarden van $\frac{\partial Q(1000m)}{\partial s} \cdot \frac{1}{\beta_s \cdot T_j}$

verzameld (zie tabel III) welke in het deelontwerp vloeistofmechanica werden bepaald. We berekenen voorts de sedimentbeweging over een periode van één jaar (1958-1959), zodat nu T_j en β_s bekend zijn:

$$T_j = 1 \text{ jaar} = 31,5 \times 10^6 \text{ sec.}$$

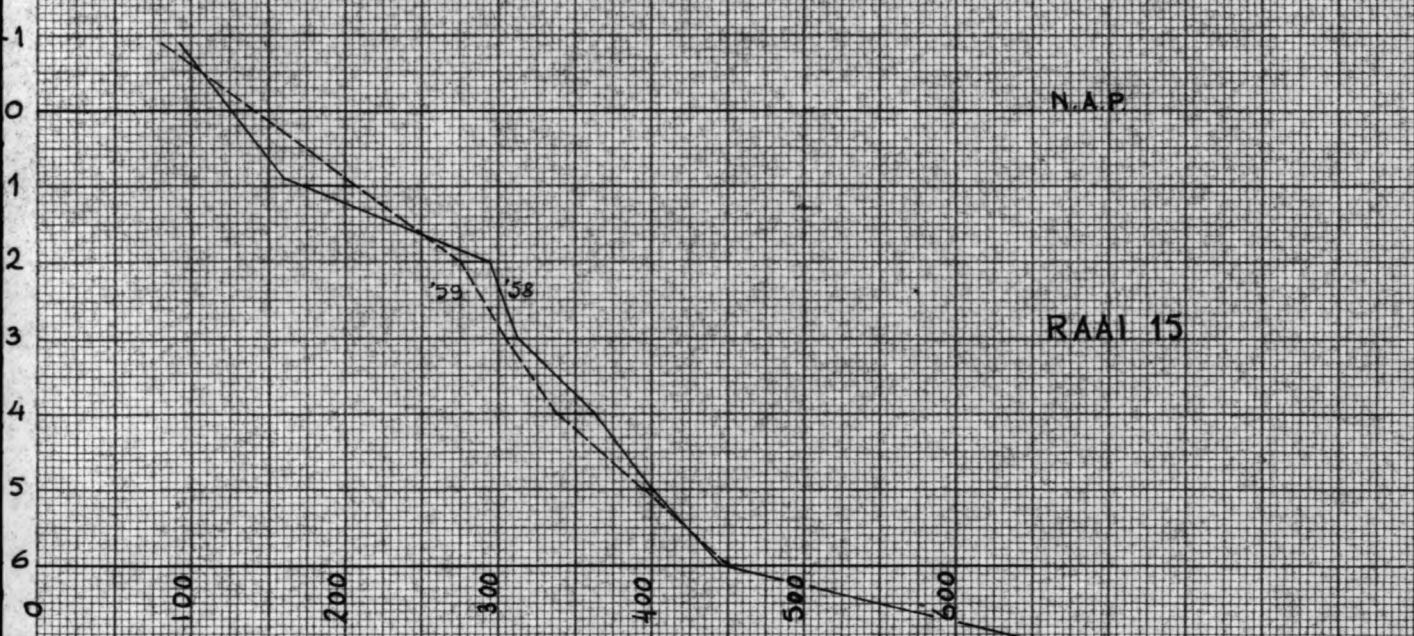
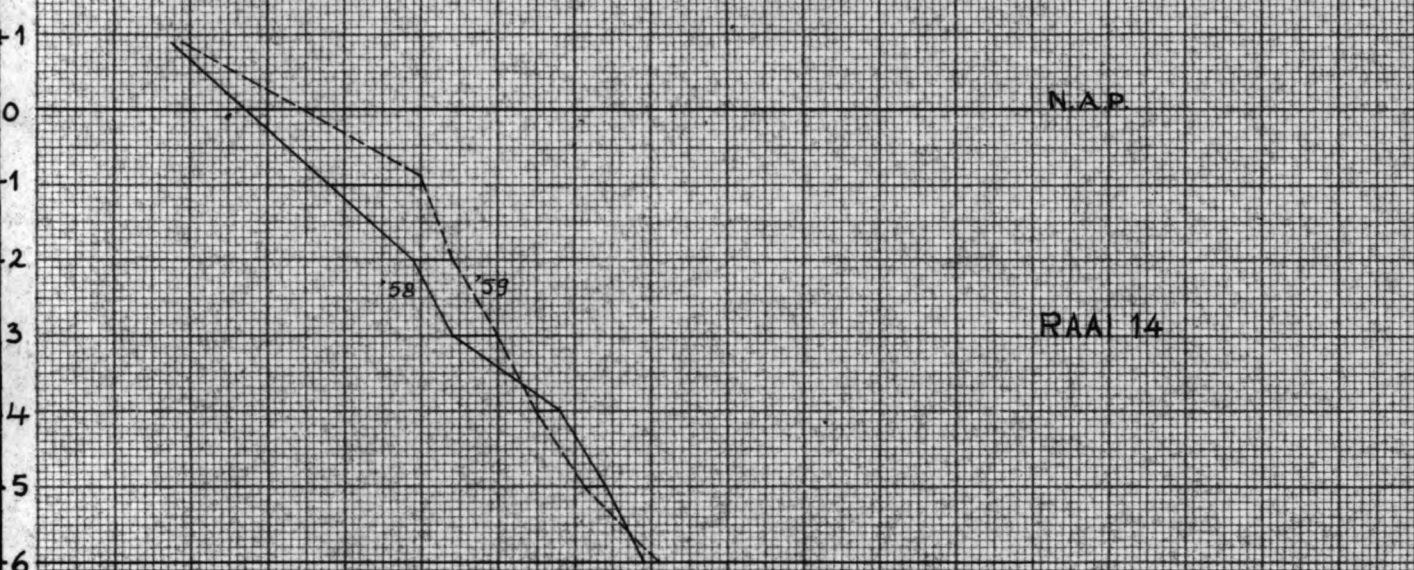
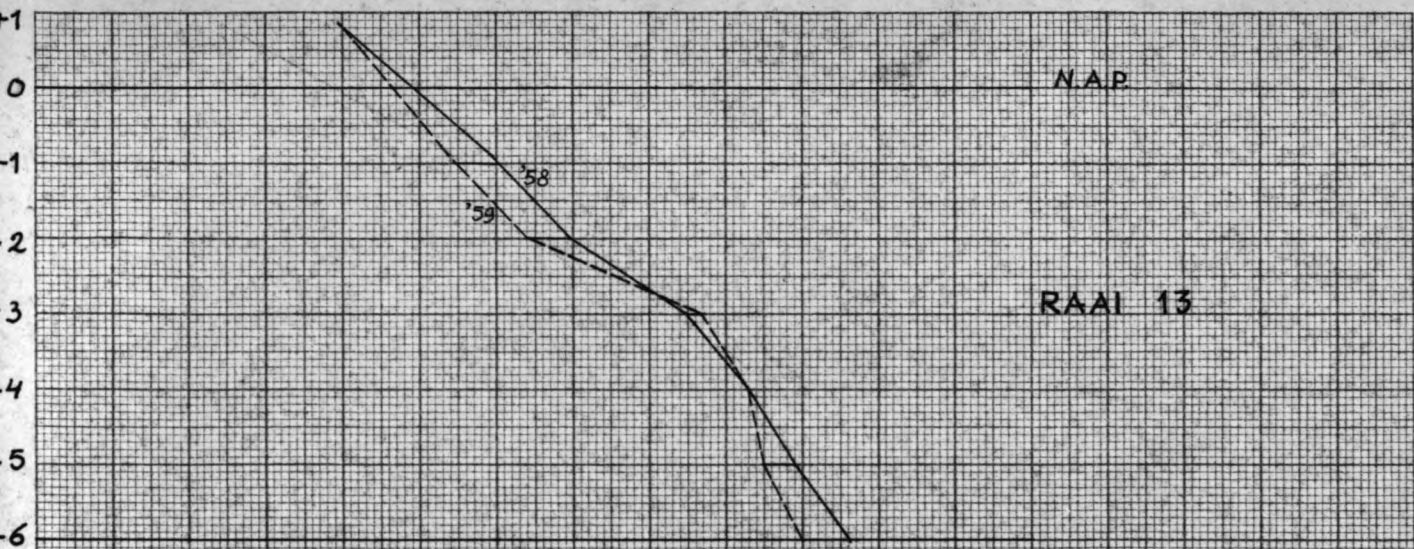
$$\beta_s = 0,006$$

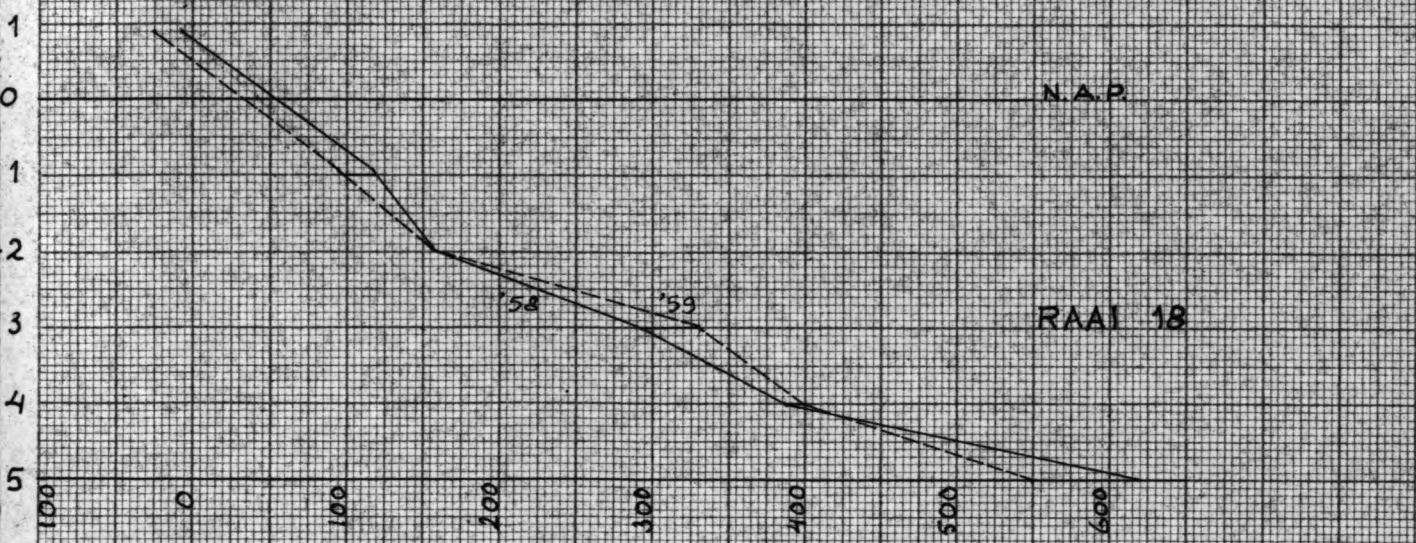
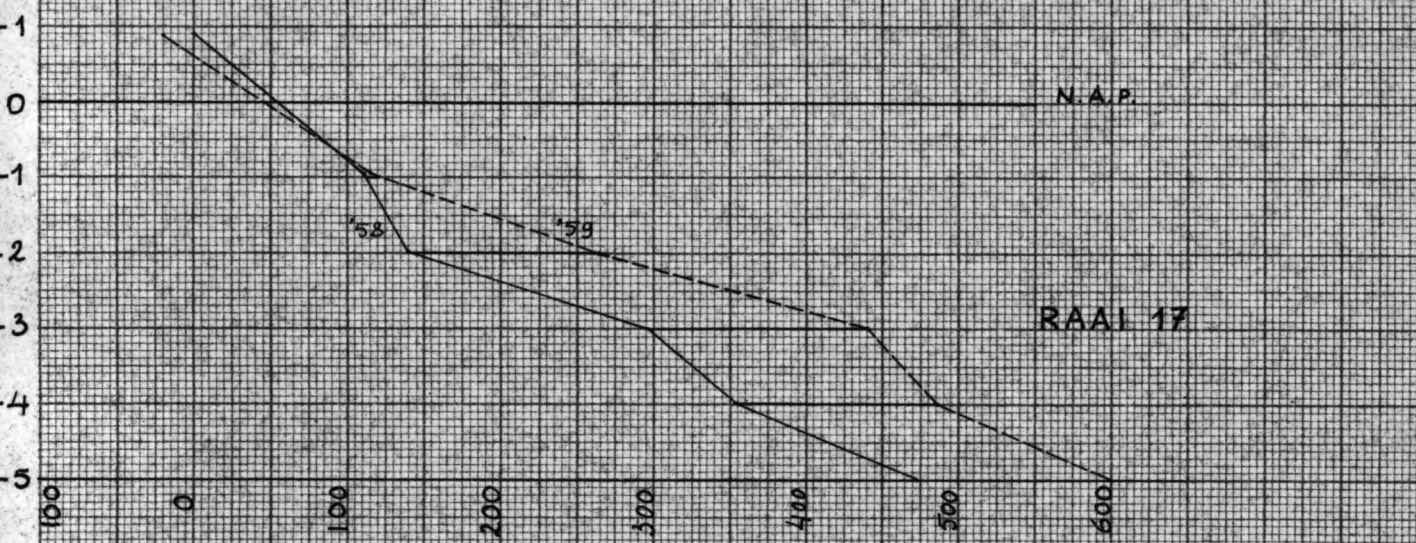
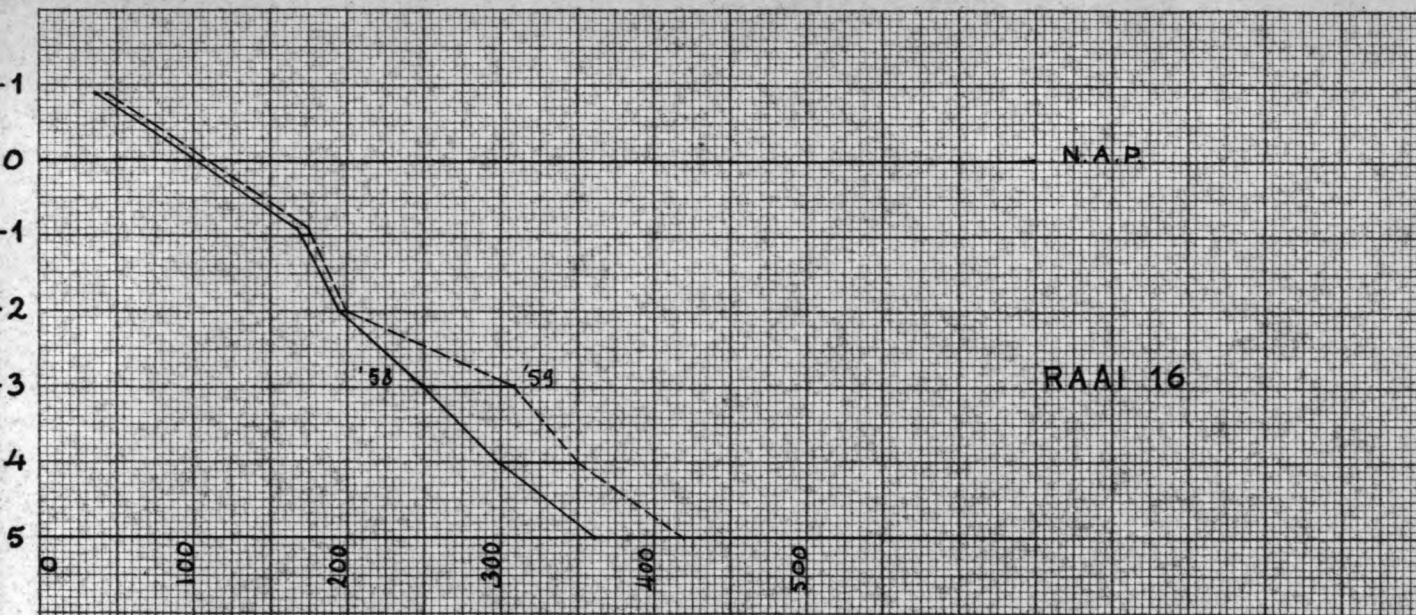
$$\text{dus } \beta_s \cdot T_j = 18,9 \times 10^4$$

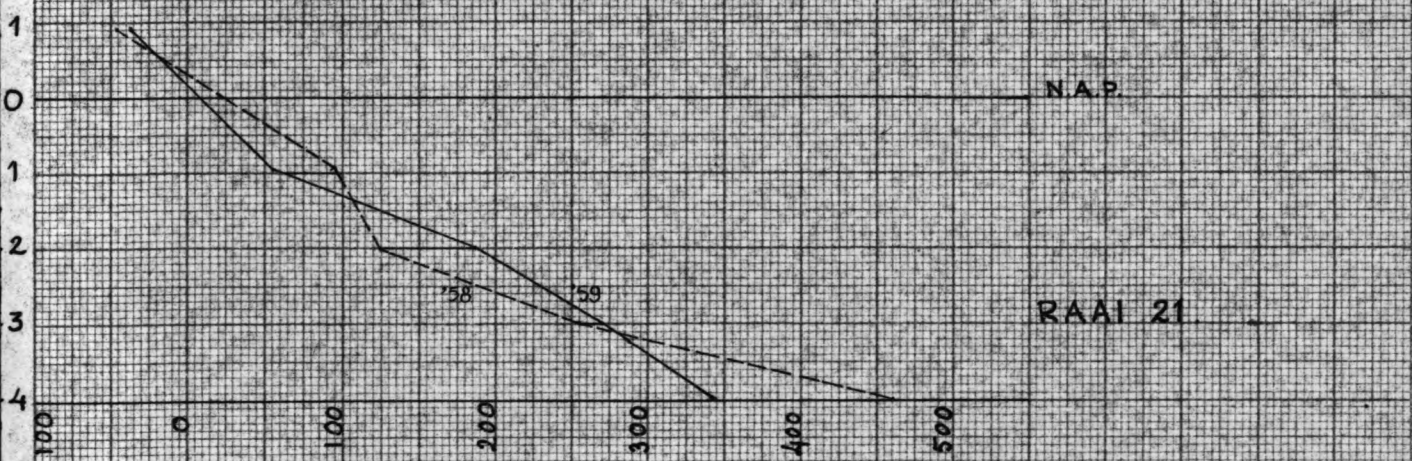
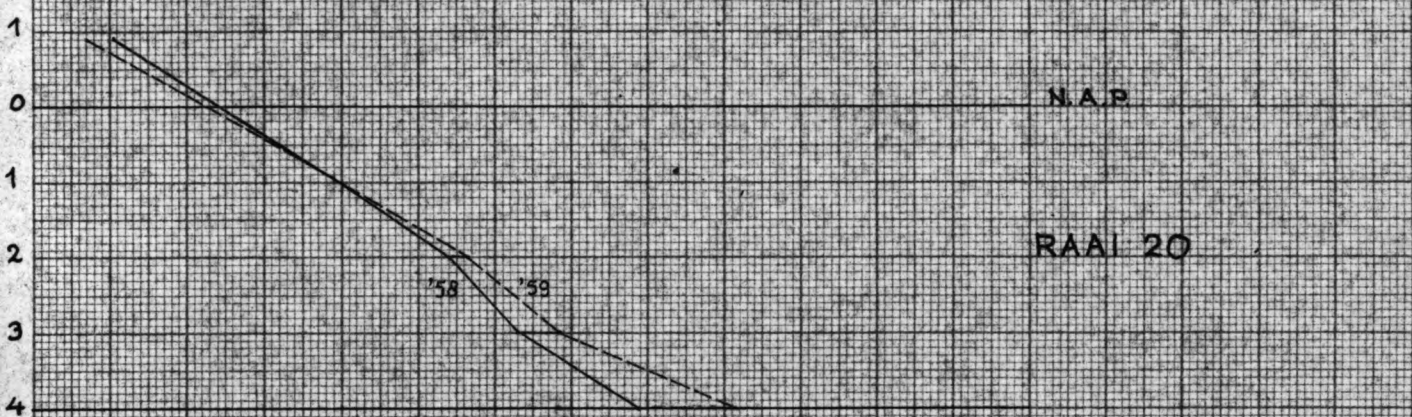
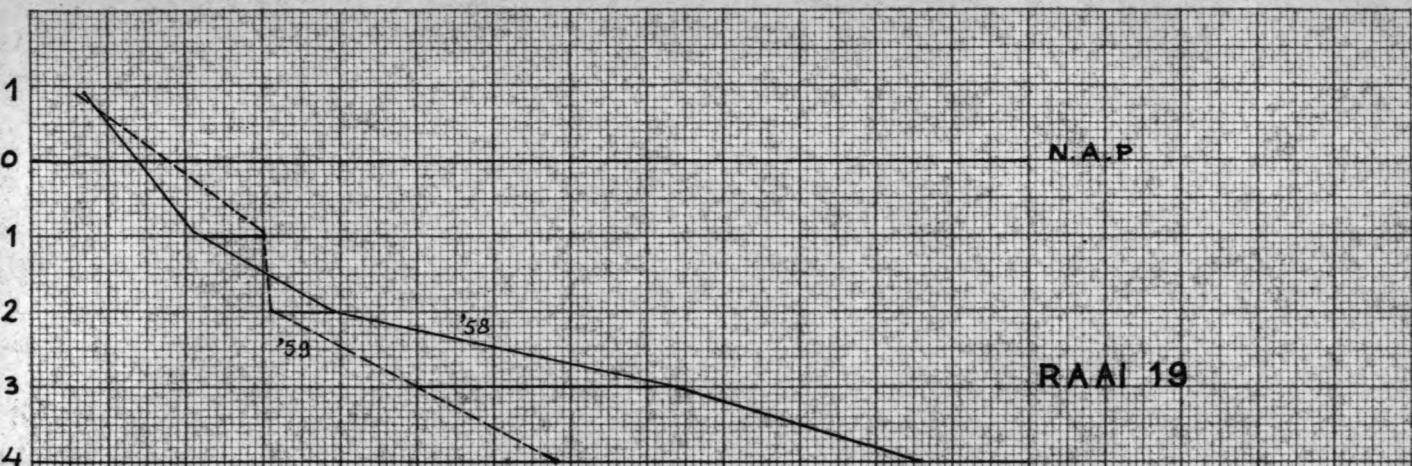
De sedimentatie resp. erosie t.g.v. golfinvloeden kan nu op eenvoudige wijze worden bepaald door de in tabel III vermelde waarden met $18,9 \times 10^4$ te vermenigvuldigen. Dit zal dan ook worden gedaan voor de raaien ter plaatse van de strandpalen 13 t/m 24 (zie tabel IV), omdat hier over een reeks van jaren de verplaatsingen van de dieptelijnen bekend zijn. Uit de tekeningen G.66.31 (zie lit. 11) kunnen voor de desbetreffende raaien de dwarsprofielen voor 1958 en 1959 worden gekonstrueerd (zie bijlagen 7 t/m 12). Door planimetreren kan voor elke dieptestrook de sedimentverplaatsing in m^3/m^2 gedurende één jaar worden bepaald (zie tabel VI).

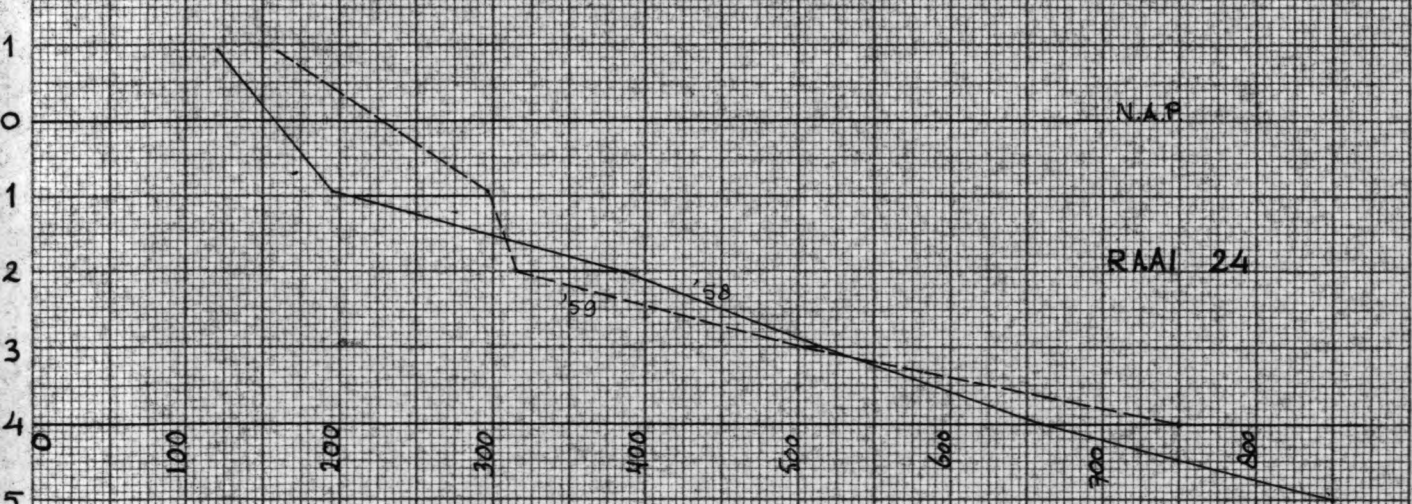
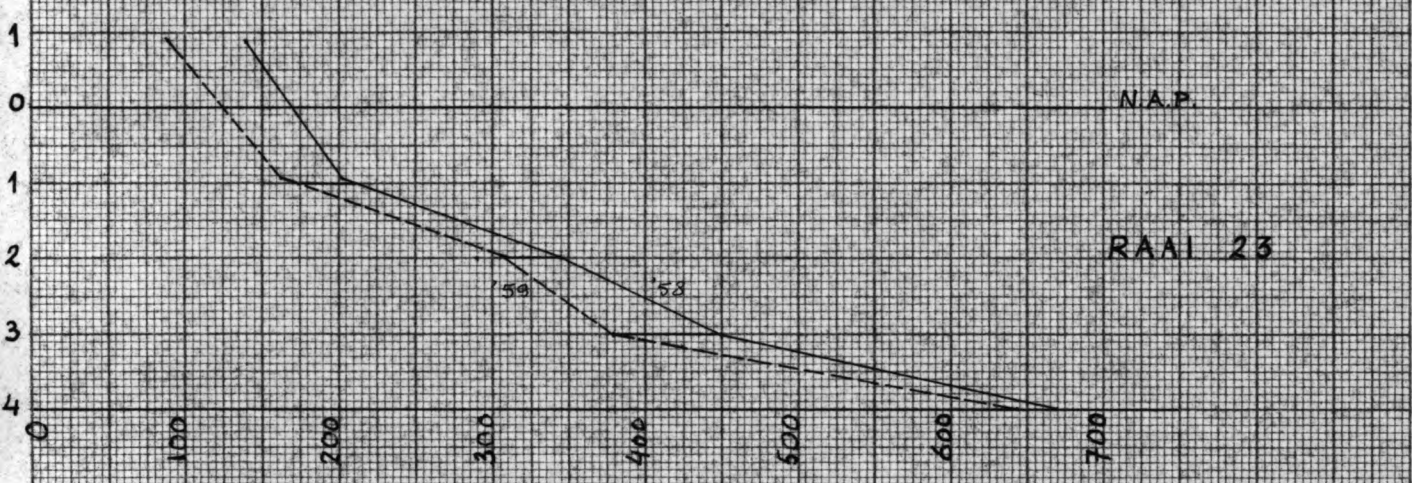
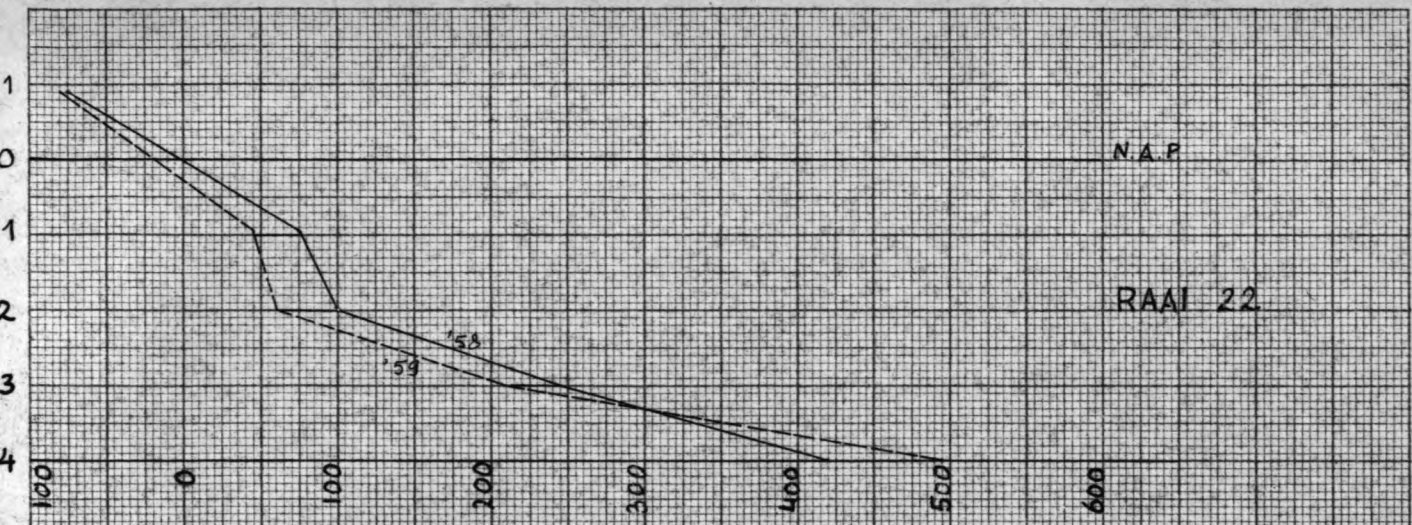
Dat het jaar 1958-'59 werd gekozen, houdt verband met het feit dat de refraktelijnen zijn getekend op een dieptelijnenkaart welke is samengesteld aan de hand van peilingen van 1958

Het verschil van beide bepaalde sedimentverplaatsingen moet nu het gevolg zijn van het getij. Deze uitkomsten kunnen worden vergeleken met de berekeningen van H.W.A. Behrens. (Zie voor ligging van de raaien de bijlagen 7 en 12).









Tabel III. Erosie en sedimentatie: $\frac{\partial Q(1000 \text{ m})}{\partial s} \cdot \frac{1}{\beta_s \cdot T_j}$

Alle waarden te vermenigvuldigen met 10^{-4} .

km verdeling	dieptestrook in m ⁻ N.A.P.					
	0-1	1-2	2-3	3-4	4-5	5-6
- 2,0	?	?	-15,466	-18,550	Voor zover hier waarden nodig zijn, liggen de desbetreffende gebiedjes achter zandbanken, zodat volgens onze hypothese het sedimenttransport door golven nul wordt.	
- 1,5	?	?	+11,124	-13,834		
- 1,0	?	?	+ 9,286	- 3,336		
- 0,5	?	?	- 1,530	- 1,214		
0	?	?	- 1,804	- 2,178		
+ 0,5	?	?	- 3,050	+ 0,182		
+ 1,0	?	-1,384	+ 6,140	+10,632		
+ 1,5	-0,274	-1,956	+ 0,686	+13,960		
+ 2,0	-0,340	-1,752	- 1,844	+ 3,392		
+ 2,5	-0,100	-2,094	+ 4,628	- 7,608		
+ 3,0	+0,162	-1,310	+ 4,518	- 5,362		
+ 3,5	+0,126	+1,200	- 0,858	+ 0,682		
+ 4,0	+0,234	+2,570	- 0,836	+ 0,144		
+ 4,5						

Tabel IV. Erosie en sedimentatie gedurende 1 jaar (1958-1959) ten gevolge van getijinvloed.

Raai nr.	diepte [m]	B [m]	$\frac{\partial Q(1000\text{m})}{\partial s}$ [m ³ /m ¹ .jaar]	gemeten [m ³ /m ¹ .jaar]	tg. getij [m ³ /m ¹ .jaar]
13	0-1	50	+0,234 x 18,9= + 4	-25	-29
	1-2	45	+2,570 x 18,9= +49	-30	-79
	2-3	95	-0,836 x 18,9= -16	-12,5	+ 3,5
	3-4	35	+0,144 x 18,9= + 3	+ 5	+ 2
	4-5	20	0	-10	-10
	5-6	30	0	-25	-25
		275	+40	-97,5	-137,5

vervolg tabel IV.

Raai nr.	diepte [m]	B [m]	$\frac{\partial Q(1000m)}{\partial s} [M^3/m^3 \text{ jaar}]$	gemeten $[m^3/m^3 \text{ jaar}]$	tg v getij $[m^3/m^3 \text{ jaar}]$
14	0-1	70	+0,126 x 18,9=+ 2	+ 52,5	+ 50,5
	1-2	40	+1,200 x 18,9=+23	+ 45	+ 22
	2-3	30	-0,858 x 18,9=-16	+ 27,5	+ 43,5
	3-4	35	+0,682 x 18,9=+13	+ 7,5	- 5,5
	4-5	30	0	- 15	- 15
	5-6	40	0	- 2,5	- 2,5
		<u>245</u>	+22	+115	+ 93
15	0-1	60	+0,162 x 18,9=+ 3	+ 30	+ 27
	1-2	95	-1,310 x 18,9=-25	+ 7,5	+ 32,5
	2-3	25	+4,518 x 18,9=+85	- 15	-100
	3-4	40	-5,362 x 18,9=-101	- 15	+ 86
	4-5	50	0	- 15	- 15
	5-6	50	0	0	0
		<u>320</u>	- 38	- 7,5	+ 30,5
16	0-1	70	-0,100 x 18,9=- 2	+ 7,5	+ 9,5
	1-2	25	-2,094 x 18,9=- 39,5	+ 5	+ 44,5
	2-3	80	+4,628 x 18,9=+ 87	+ 32,5	- 54,5
	3-4	45	-7,608 x 18,9=-144	+ 55	+199
	4-5	65	0	+ 60	+ 60
		<u>285</u>	- 98,5	+160	+258,5
17	0-1	65	-0,340 x 18,9=- 6	- 2,5	+ 3,5
	1-2	85	-1,725 x 18,9=- 33	+ 67,5	+100,5
	2-3	165	-1,844 x 18,9=- 35	+135	+170
	3-4	55	+3,392 x 18,9=+ 64	+137,5	+ 73,5
	4-5	120	0	+127,5	+127,5
		<u>490</u>	- 10	+465	+475,0
18	0-1	65	-0,274 x 18,9=- 5	- 20	- 15
	1-2	50	-1,956 x 18,9=- 37	- 10	+ 27
	2-3	155	+0,686 x 18,9=+ 13	+ 17,5	+ 4,5
	3-4	80	+13,960 x 18,9=+264	+ 22,5	-241,5
	4-5	180	0	- 30	- 30
		<u>530</u>	+235	- 20	-255

vervolg tabel IV.

Raai nr	diepte [m]	B [m]	$\frac{\partial Q}{\partial s} (1000m) [m^3/m'jaar]$	gemeten $[m^3/m'jaar]$	tg v getij $[m^3/m'jaar]$
19	0-1	50	+ 35	+ 35	0
	1-2	45	-1,384 x 18,9=- 26	0	+ 26
	2-3	160	+6,140 x 18,9=+116	-105	- 221
	3-4	125	+10,632x 18,9=+201	-205	- 406
		<u>380</u>	+326	-275	- 601
20	0-1	85	- 2,5	- 2,5	0
	1-2	75	+ 5	+ 5	0
	2-3	50	-3,050 x 18,9=- 58	+ 17,5	+ 75,5
	3-4	95	+0,182 x 18,9=+ 3,5	+ 42,5	+ 39
		<u>305</u>	- 52	+ 62,5	+ 114,5
21	0-1	60	+ 27,5	+ 27,5	0
	1-2	75	- 15	- 15	0
	2-3	105	-1,804 x 18,9=- 34	- 37,5	- 3,5
	3-4	140	-2,178 x 18,9=- 41	+ 50	+ 91
		<u>380</u>	- 62,5	+ 25	+ 87,5
22	0-1	70		-22,5	
	1-2	20		- 35	
	2-3	145	-1,530 x 18,9=- 29	- 37,5	- 8,5
	3-4	230	-1,214 x 18,9=- 23	+ 20	+ 43
		<u>465</u>	- 52	- 75	+ 34,5
23	0-1	45		- 42,5	
	1-2	135		- 35	
	2-3	90	+9,286 x 18,9=+175	-52,5	- 227,5
	3-4	245	-3,336 x 18,9=- 63	- 47,5	+ 15,5
		<u>515</u>	+112	-177,5	- 212
24	0-1	60		+ 85	
	1-2	95		+ 10	
	2-3	160		- 40	
	3-4	195	-13,83 x 18,9=-262	+ 40	- 302
		<u>510</u>	-262	+ 95	- 302

Hiermee is langs een omweg tenslotte het sedimenttransport ten gevolge van getijstroomen bepaald voor het kustvak nabij het eiland Goeree.

Daar bij de rechtstreekse berekening van de getijinvloed een vierkantennet werd gebruikt en als gevolg daarvan de sedimentatie resp. erosie per vierkant bepaald is, zal hier het bovenstaande resultaat worden omgerekend naar sedimentverplaatsing per oppervlakte-eenheid. Dit kan worden bereikt door de waarden uit de laatste kolom van tabel IV te delen door B (gemiddelde afstand tussen twee opvolgende dieptelijnen). De uitkomsten zijn weergegeven in tabel V en in bijlage 12.

Tabel V:

Aanzanding (+) / erosie (-) in m^3/m^2 ten gevolge van getij.

Raai nr	diepte in m					
	0-1	1-2	2-3	3-4	4-5	5-6
24	-	-	-	-1,55	-	-
23	-	-	-2,53	+0,06	-	-
22	-	-	-0,06	+0,19	-	-
21	0	0	-0,03	+0,65	-	-
20	0	0	+1,51	+0,41	-	-
19	0	+0,58	-1,38	-3,25	-	-
18	-0,23	+0,54	+0,03	-3,02	-0,17	-
17	+0,05	+1,18	+1,03	+1,34	+1,06	-
16	+0,14	+1,78	-0,68	+4,42	+0,92	-
15	+0,45	+0,34	-4,00	+2,15	-0,30	-
14	+0,72	+0,55	+1,44	-0,16	-0,50	-0,06
13	-0,58	-1,75	+0,04	+0,06	-0,50	-0,83

Om nu tot een duidelijke vergelijking te kunnen komen met de door H.W.A. Behrens berekende waarden wordt m.b.v. bovenstaande tabel de sedimentverplaatsing bepaald voor de in bijlage 12 aangegeven punten van het vierkantennet. Eén en ander is gerealiseerd door het gemiddelde te nemen van de voorkomende waarden binnen een vierkant, waarbij het "gewicht" van de oppervlakten van de diverse dieptestroken in rekening werd gebracht.

De einduitkomsten zijn weergegeven in tabel VI.

Tabel VI: Erosie (-) en sedimentatie (+) in enige vakken van het vierkantennet, in m^3/m^2 .jaar, ten gevolge van getijstroomen.

Coördinaten	Verdieping resp. verondieping.	berekening Behrens
1-24	$-\frac{90990}{62000} = -1,47m$	-
2-24	$+\frac{1910}{75000} = +0,03 m$	+ 0,25
2-23	$-\frac{112350}{76000} = -1,48 m$	0
3-23	$+\frac{15230}{131000} = +0,12 m$	+ 0,06
4-22	$+\frac{8100}{114000} = +0,07 m$	0
5-22	$+\frac{55790}{120000} = +0,46 m$	- 0,252
6-21	$-\frac{129080}{103000} = -1,25 m$	+ 0,18
6-20	$-\frac{50690}{82000} = -0,62 m$	0
7-20	$-\frac{118170}{155000} = -0,79 m$	+ 0,04
8-20	$+\frac{55360}{139000} = +0,40 m$	+ 0,07
9-19	$+\frac{74430}{98000} = +0,76 m$	- 0,24
10-19	$+\frac{86290}{119000} = +0,73 m$	- 0,59
11-19	$-\frac{4900}{55000} = -0,09 m$	+ 0,05
12-18	$+\frac{40590}{108000} = +0,38 m$	+ 0,06
13-18	$-\frac{30670}{72000} = -0,43 m$	- 0,25

GETIJ

V ZANDTRANSPORT DOOR GETIJSTROOM

De berekening van dit zandtransport zal worden uitgevoerd aan de hand van de methode Morra-Kalinske, zoals die door de heer Morra in "De Zandbeweging In Het Getijgebied" beschreven wordt.

De voor deze berekening benodigde formules worden in hoofdstuk VI afgeleid, terwijl in hoofdstuk VII een toelichting op de berekening wordt gegeven.

De berekening zelf voor het gehele beschouwde gebied wordt hier niet bijgevoegd, echter wel een rekenvoorbeeld voor één punt.

Het totale zandtransport door stroom is te splitsen in een zwevend transport en een rollend transport. Daar de korrelafmetingen in het onderzochte gebied klein zijn ($D_{50} = 175 \mu$), kan het rollend transport verwaarloosd worden ten opzichte van het bodemtransport.

In hoofdstuk VIII zal de juistheid van deze en andere aannamen kritisch worden bekeken.

Om verwarring te voorkomen, zijn de in dit gedeelte gebruikte symbolen voor zover nodig identiek aan de door A. Zwols gebruikte. Dit houdt in dat de symbolen niet allemaal overeenkomen met die welke in het rapport van Morra gebruikt zijn.

VI AFLEIDING FORMULES VOOR ZWEVEND TRANSPORT

Hiervoor zijn de volgende aannamen gedaan:

- Uitgegaan wordt van een evenwichtstoestand
- De stroom wordt als stationair beschouwd
- Het bodemmateriaal heeft geen cohesie.

De overdracht van een bepaalde eigenschap in een stroom door turbulentie, kan beschreven worden met de formule:

$$M = \epsilon_N \frac{\partial N}{\partial h} \quad (1)$$

waarin N = de over te dragen eigenschap

M = de mate van overdracht van eigenschap N in de richting h per tijds eenheid

ϵ_N = uitwisselingscoëfficiënt voor de eigenschap N

Nu kan zowel de snelheid V, als het zandgehalte S als een eigenschap beschouwd worden.

Het is niet noodzakelijk dat ϵ_v en ϵ_s even groot zijn, maar zij zullen wel gelijk zijn als de tijdsfactor die in ϵ voorkomt groot genoeg is, dus als de zand- en waterdeeltjes dezelfde snelheid hebben.

Aangenomen is dat dit zo zal zijn, dus $\epsilon_v = \epsilon_s = \epsilon$.

Bovendien wordt aangenomen dat ϵ een scalaire grootte is.

Voor de impulsuitwisseling wordt met formule (1) gevonden:

$$\tau = \rho \epsilon \frac{\partial V}{\partial z} = \frac{\rho \epsilon}{d} \frac{\partial V}{\partial n} \quad (n = \frac{z}{d}) \quad (2)$$

en voor de zanduitwisseling : $T = - \epsilon \frac{\partial S}{\partial z} \quad (3)$

Indien de snelheid als functie van de hoogte bekend is, kan met formule (2) de ϵ berekend worden, daar τ uitgedrukt kan worden met $\tau = \tau_0 (1-n) = \rho g d I (1-n)$

$$(4)$$

Uitgegaan wordt van een parabolische- en een logaritmische snelheidsverdeling.

Parabolisch snelheidsprofiel: $V = V_1 z^{\frac{1}{2}}$ (5)

$$V_m = C \sqrt{d I} = \frac{1}{d} \int_0^d V dz = \frac{1}{d} \int_0^d V_1 z^{\frac{1}{2}} dz = \frac{1}{d} \cdot \frac{2}{\frac{1}{2} + 1} V_1 z^{\frac{1}{2} + 1} \Big|_0^d$$

$$C \sqrt{d I} = \frac{2}{\frac{3}{2}} V_1 d^{\frac{3}{2}} \rightarrow V_1 = \frac{C \sqrt{d I} \cdot (\frac{3}{2} + 1)}{d^{\frac{3}{2}} \cdot \frac{3}{2}}$$

Het snelheidsprofiel wordt dus beschreven met:

$$V = \frac{C \sqrt{dI} \cdot (q+1) z^{\frac{1}{2}}}{d^{\frac{1}{2}} q} = C \sqrt{dI} \cdot \frac{q+1}{q} \cdot n^{\frac{1}{2}} \quad (5')$$

$$\frac{dV}{dn} = C \sqrt{dI} \cdot \frac{q+1}{q} \cdot \frac{1}{2} n^{-\frac{1}{2}} \quad (6)$$

Met formule 2 wordt nu gevonden:

$$\epsilon = \frac{d\tau}{\rho \frac{dV}{dn}} = \frac{\rho g dI \cdot (1-n) \cdot d \cdot q}{\rho C \sqrt{dI} \cdot \frac{q+1}{q} \cdot n^{\frac{1}{2}}} = \frac{g \sqrt{dI}}{C} (1-n) \frac{q^2}{q+1} n^{\frac{q-1}{2}} \cdot d \quad (7)$$

$$\bar{\epsilon} = \int_0^1 \epsilon dn = \frac{g \sqrt{dI}}{C} \cdot \frac{q^2}{q+1} d \left(\frac{q}{2q-1} - \frac{q}{3q-1} \right)$$

Nu wordt de notatie ingevoerd:

$$s = g \cdot \frac{q^2}{q+1} \left(\frac{q}{2q-1} - \frac{q}{3q-1} \right) \quad (s = 1,62 q \text{ voor } q \gg 5) \quad (8)$$

$$\bar{\epsilon} \text{ is nu: } \bar{\epsilon} = \frac{\sqrt{dI}}{C} \cdot d \cdot s.$$

$$\text{Voor een logaritmisch profiel: } V = V_m + \frac{\sqrt{g d I}}{K} (1 + \ln n) \quad (9)$$

wordt op analoge wijze gevonden:

$$\epsilon = K d \sqrt{g d I} (1-n) n \quad (10)$$

$$\bar{\epsilon} = \frac{K d \sqrt{g d I}}{6} \quad (11)$$

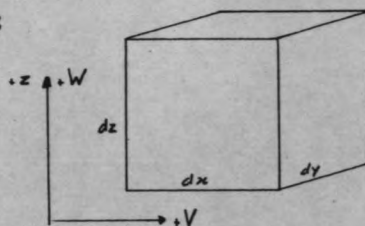
Het verband tussen de parabolische en de logaritmische snelheidsverdeling wordt gevonden door aan te nemen dat $V_{max} : V_m$ voor beide verdelingen gelijk is.

Hiermee wordt gevonden: $K = \frac{q \sqrt{g}}{C}$

Nu blijken de formules (8) en (11) identiek te zijn, immers

$$\frac{K d \sqrt{g d I}}{6} = \frac{q \sqrt{g}}{C} \cdot \frac{d \sqrt{g d I}}{6} = \frac{s}{1,62} \cdot \frac{g}{6} \frac{d \sqrt{d I}}{C} = \frac{d s \sqrt{d I}}{C}$$

In een volume-element wordt de verandering van het zandgehalte S per tijdseenheid door de volgende factoren bepaald:



a) Turbulente uitwisseling (formule 3)

$$\frac{\partial S}{\partial t} dx dy dz = \left\{ -\frac{\partial}{\partial z} \left(\epsilon \frac{\partial S}{\partial z} \right) - \frac{\partial}{\partial y} \left(\epsilon \frac{\partial S}{\partial y} \right) - \frac{\partial}{\partial x} \left(\epsilon \frac{\partial S}{\partial x} \right) \right\} dx dy dz$$

b) Valsnelheid van de deeltjes:

$$\frac{\partial S}{\partial t} dx dy dz = -W \frac{\partial S}{\partial z} dz dx dy$$

c) Stroomsnelheid van het water

$$\frac{\partial S}{\partial t} dx dy dz = -\frac{\partial}{\partial x} (VS) dx dy dz = \left(-V \frac{\partial S}{\partial x} - S \frac{\partial V}{\partial x} \right) dx dy dz$$

(Aangenomen is $V_y = V_z = 0$)

Dit gesommeerd geeft:

$$\frac{\partial S}{\partial t} = -\frac{\partial}{\partial z} \left(\epsilon \frac{\partial S}{\partial z} \right) - \frac{\partial}{\partial y} \left(\epsilon \frac{\partial S}{\partial y} \right) - \frac{\partial}{\partial x} \left(\epsilon \frac{\partial S}{\partial x} \right) - W \frac{\partial S}{\partial z} - V \frac{\partial S}{\partial x} - S \frac{\partial V}{\partial x} \quad (12)$$

Deze vergelijking kan met de volgende aannamen vereenvoudigd worden:

- Er heerst een evenwichtstoestand $\rightarrow \frac{\partial S}{\partial t} = 0$

- $\frac{\partial}{\partial z}$ is veel groter dan $\frac{\partial}{\partial y}$ en $\frac{\partial}{\partial x}$

Hiermee wordt (12):

$$0 = -\frac{\partial}{\partial z} \left(\epsilon \frac{\partial S}{\partial z} \right) - W \frac{\partial S}{\partial z} \quad (13)$$

Door deze vergelijking tweemaal te integreren, wordt nu de volgende evenwichtsvoorwaarde gevonden:

$$\ln \frac{S_{z_1}}{S_{z_2}} = -W \int_{z_2}^{z_1} \frac{1}{\epsilon} dz \quad (14)$$

Door de waarde van ϵ uit formule 7, 8 of 11, of 10 te substitueren, kan formule 14 opgelost worden.

- met formule (7) (ϵ bij een parabolisch snelheidsprofiel)

$$\frac{S_{n_1}}{S_{n_2}} = \left\{ \frac{(1-n_1)^{n_1^{1/2}} \cdot e^{-(2+1)n_1^{1/2}}}{(1-n_2)^{n_2^{1/2}} \cdot e^{-(2+1)n_2^{1/2}}} \right\}^{t/k} \quad (15)$$

waarin $k = \frac{2\sqrt{g}}{C}$ en $t = \frac{W}{\sqrt{g d I}} \rightarrow \frac{t}{k} = \frac{W.C}{2g\sqrt{dI}}$

- met formule 8 of 11, (ε gemiddeld)

$$\left(\frac{S_{n_1}}{S_{n_2}}\right) = e^{-6 \frac{t}{k} (\eta_1 - \eta_2)} \quad (16)$$

- met formule 12 (ε bij een logarithmisch snelheidsprofiel)

$$\frac{S_{n_1}}{S_{n_2}} = \left(\frac{1 - \eta_1}{\eta_1} \cdot \frac{\eta_2}{1 - \eta_2}\right)^{t/k} \quad (17)$$

De formules 15, 16 en 17 geven concentratieverhoudingen, maar geen concrete waarden.

Om deze te vinden moet een der beide concentraties bekend zijn.

Kalinske heeft een verband gelegd tussen zwevend materiaal en bodemmateriaal, dat uitgedrukt wordt met de formule:

$$S_{ob} = \Delta F_{(k)} \cdot \frac{A}{\sqrt{\eta}} \left\{ \frac{1}{2w_c} e^{-w_c^2} - \frac{\sqrt{\eta}}{2} \left(1 - \frac{2}{\sqrt{\eta}} \int_0^{w_c} e^{-w_v^2} dw_v\right) \right\}$$

waarin:

$\Delta F_{(k)}$ = gehalte bodemmateriaal met valsnelheid W

$$w_c = \frac{W}{\sqrt{g d I}} \cdot \frac{1}{\sqrt{2k_1^2}}$$

$$w = \frac{V}{\sqrt{g d I}} \cdot \frac{1}{\sqrt{2k_1^2}}$$

V = verticale snelheidscomponent van de opwaartsgerichte turbulentie snelheid

A = constante

k_1 = constante

Door Morra zijn door vergelijking van een groot aantal gehalteverticalen de waarden voor A en k_1^2 bepaald als $A = 39$ en $k_1^2 = 0,27$.

Daar de bekende concentratie met behulp van de methode van Kalinske wordt bepaald voor $\eta = 0$ is formule (17) niet bruikbaar.

Voor $n_2 = 0$ wordt formule (16) nu:

$$S_{n_1} = S_0 \left\{ (1-n_1)^{n_1 \frac{t}{K}} e^{-(2-n_1)n_1 \frac{t}{K}} \right\}^{1/K} \quad (18)$$

en formule (17) wordt

$$(S_{n_1})_b = S_{0b} e^{-\frac{6t}{K} n_1} \quad (19)$$

Het zandtransport kan nu worden berekend door de concentratie te vermenigvuldigen met de snelheid op dezelfde hoogte en dit te integreren over de gehele hoogte.

$$T = \int_0^1 S_n V_n d\eta \quad (20)$$

Met de formules (18) en (5') wordt zo gevonden:

$$T = S_0 V_m d R_1 \quad (21)$$

waarin $R_1 = F_1\left(\eta, \frac{t}{K}\right)$

Met de formules (19) en (5') wordt als benadering voor het transport gevonden:

$$T_b = S_{0b} V_m d R_2 \quad \text{met} \quad R_2 = F_2\left(\eta, \frac{t}{K}\right) \quad (22)$$

De bodemveranderingen kunnen nu berekend worden door de afgeleiden van T of T_b te bepalen, daar de berekende transporten transportcapaciteiten zijn bij een evenwichtstoestand.

Dit houdt in dat het water een bij die snelheid behorende verzadigingstoestand heeft bereikt.

Is de werkelijke zandverplaatsing minder, respectievelijk meer dan de berekende, dan zal zoveel erosie, respectievelijk sedimentatie optreden, dat de verzadigingsgraad weer wordt bereikt.

Aangenomen is dat deze bodemveranderingen plaats vinden in één vak tussen de twee berekende transportcapaciteiten aan de rand van dat vak.

VII BEREKENING VAN HET ZWEVEND TRANSPORT

De berekening is uitgevoerd voor het gebied dat op bijlage 13 aangegeven is, waarvoor Rijkswaterstaat ons metingen ter beschikking heeft gesteld, zodat er een vergelijking mogelijk is tussen de opgetreden bodemveranderingen en de bodemveranderingen gevonden door superpositie van de veranderingen door golven en getijstroming.

Voor de berekening van het zwevend transport is uitgegaan van formule 22.

Deze berekening wordt aanzienlijk vereenvoudigd doordat in het rapport "De Zandbeweging In Het Getijgebied" van R.H.J. Morra, grafieken zijn bijgevoegd die het verband geven tussen t en $\frac{S_{0, R_1}}{\Delta F_{(t)}}$ en tussen V_m , d en t .

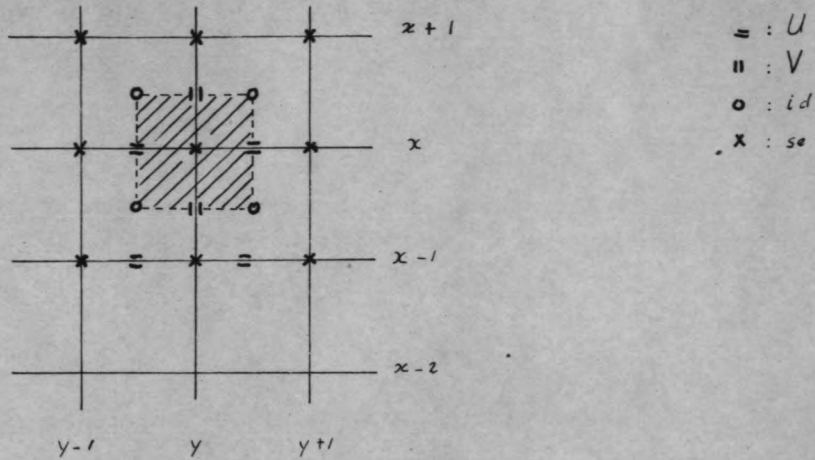
De stroomsnelheden en de waterdiepten zijn ontleend aan een computergetijberekening (van Dr. Dronkers) voor de mond van het Haringvliet.

De nog ontbrekende gegevens zijn door Rijkswaterstaat verstrekt.

Voor de getijberekening is het gebied in vakken van 400 x 400 m. verdeeld (zie bijlage 13).

De berekening geeft de bodemligging ten opzichte van NAP (=i.d.) en verder van uur tot uur de snelheden in de x- en in de y-richting (respectievelijk V en U) en de hoogte van de waterspiegel ten opzichte van NAP (= s.e.).

Een probleem is dat deze gegevens op verschillende punten in één vak gegeven zijn.



Dit wordt nu als volgt omgerekend:

$$V_{(x,y)} = \frac{V_{(x-\frac{1}{2}, y)} + V_{(x+\frac{1}{2}, y)}}{2}$$

$$U_{(x,y)} = \frac{U_{(x, y-\frac{1}{2})} + U_{(x, y+\frac{1}{2})}}{2}$$

$$id_{(x,y)} = \frac{id_{(x-\frac{1}{2}, y-\frac{1}{2})} + id_{(x+\frac{1}{2}, y-\frac{1}{2})} + id_{(x-\frac{1}{2}, y+\frac{1}{2})} + id_{(x+\frac{1}{2}, y+\frac{1}{2})}}{4}$$

$$se_{(x,y)} = se_{(x,y)}$$

Deze waarden gelden dus voor het gearceerde vak.

Met de zo omgewerkte gegevens zijn voor de verschillende vakken van uur tot uur de volgende grootheden berekend:

$$V_m = \bar{V} \text{ resulterend} = \sqrt{U^2 + V^2}$$

$$d = \text{waterdiepte} = id + se$$

θ is de richting van V_m ten opzichte van de positieve y-as

$$\cotg \theta = \frac{U}{V}$$

Daar bij de getijberekening het gebied in vakken van $400 \times 400 \text{ m}^2$ is verdeeld moet voor de transportberekening ook van deze verdeling worden uitgegaan.

Bij de getijberekening ontbreekt de periode $7\frac{1}{2} - 9\frac{1}{2}$ uur na hoogwater in Hellevoetsluis.

In deze periode valt in het beschouwde gebied juist de stroomkentering, zodat de stroomsnelheden dan klein zullen zijn. De fout die gemaakt wordt door het transport tijdens deze periode op nul te stellen, zal dan ook klein zijn.

Van Rijkswaterstaat zijn de volgende gegevens verkregen

$$D_{50} = 175$$

$$W = 0,0175 \text{ m/sec}$$

$$n = 0,022$$

Deze grootheden worden voor het gebied als zijnde constant aangenomen.

$$n = \text{het getal van Manning} = \frac{d^{1/6}}{C}$$

Met het getal van Manning kan de term t bepaald worden

$$t = \frac{W}{\sqrt{gd}} = \frac{W d^{1/6}}{n V_m \sqrt{g}}$$

Bij het rapport van Morra is een bijlage gevoegd die het verband tussen V_m en t geeft voor $n = 0,024$ en $W = 0,020$.

Voor andere waarden van W en n kan deze grafiek ook gebruikt worden mits de waarde van V_m omgerekend

wordt tot V_m^x

$$V_m^x = \frac{0,020^m}{0,024} \times \frac{n}{W} \times V_m$$

(V_m^x is dus een zuivere rekengrootheid).

Een andere grafiek van Morra geeft het verband tussen

$$T \text{ en } \frac{S_{ob} R_s}{\Delta F(\alpha)}$$

Met deze twee grafieken is de berekening van $\frac{S_{ob} R_s}{\Delta F(\alpha)}$ uitgevoerd.

Bij de verdere berekening is aangenomen dat $\Delta F(\alpha) = 100\%$, dus dat al het bodemmateriaal dezelfde valsnelheid heeft.

Zoals uit formule (22) blijkt moet de term $\frac{S_{ob} R_s}{\Delta F(\alpha)}$ vermenigvuldigd worden met V_m en met d om het zandtransport T (in $\frac{100 \text{ cm}^3}{\text{m} \cdot \text{sec}}$) te vinden.

Dit transport is gericht in de hoofdstroomrichting.

Berekening zandtransportcapaciteit door getijstroom voor het vak $y = 11$, $x = 19$

$id = 4,37 \text{ m}$, $n = 0,012$, $W = 0,015 \text{ m}^3/\text{sec}$, $V_m = 1,05 \times V_m$, $\Delta F(\xi) = 100\%$

Tijd	U	V	V_m	V_m^x	u/v	θ	S	μ	t	$\frac{S_{0, R_2}}{\Delta F(\xi)}$	$T = \frac{(11) \cdot (12) \cdot (9) \cdot 3600 \cdot \Delta F(\xi)}{10^6}$	$(12 \sin \theta)$	$(12) \cos \theta$
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	$\text{m}^3/\text{m uur}$	m^3/muur
	m/sec	m/sec	m/sec				m	m		cm/m^3	$\text{m}^3/\text{m}^3 \text{ uur}$	m^3/m	m^3/muur
0	+0,31	-0,08	0,32	0,336	-3,9	345	+1,18	5,55	1,01	0,0078	0,0050	-0,0013	+0,0050
1	+0,01	+0,06	0,06	0,063	+0,16	80	+0,69	5,06	5,50	0	0	0	0
2	-0,21	+0,195	0,29	0,304	-1,08	135	+0,05	4,42	1,11	0,0037	0,0017	+0,0012	-0,0012
3	-0,35	+0,285	0,45	0,472	-1,23	140	-0,52	3,85	0,70	0,080	0,0499	+0,0321	-0,0382
4	-0,425	+0,30	0,52	0,545	-1,41	145	-0,92	3,45	0,60	0,162	0,1046	+0,0601	-0,0858
5	-0,375	+0,265	0,46	0,485	-1,41	145	-0,92	3,45	0,685	0,090	0,0514	+0,0295	-0,0422
6	-0,350	+0,205	0,38	0,399	-1,70	150	-0,73	3,64	0,82	0,030	0,0149	+0,0075	-0,01294
7													
8													
9	+0,415	-0,205	0,46	0,485	-2,0	335	-0,26	4,11	0,71	0,074	0,0504	-0,0213	+0,0456
10	+0,60	-0,265	0,66	0,692	-2,27	335	+0,64	5,01	0,505	0,340	0,4047	-0,1712	+0,3667
11	+0,615	-0,22	0,65	0,682	-2,8	340	+1,29	5,66	0,52	0,30	0,3973	-0,1360	+0,3735
12	+0,415	-0,125	0,43	0,451	-3,3	345	+1,31	5,68	0,785	0,042	0,0369	-0,0096	+0,0356
T1 t/m T11												-0,1981	+0,6055
T0 + T12												-0,0109	+0,0406

Daar de bodemveranderingen per vak per jaar zullen worden berekend is het transport ontbonden in de x en y richting.

$$T_x = T \sin\theta \quad , \quad T_y = T \cos\theta$$

Per coördinatensnijpunt zijn de transportcomponenten per tijdsinterval vermenigvuldigd met 3600 om de transporten per uur te berekenen. (zie tabel VII)

Voor de tijdsintervallen 0 en 12 , dit is van 0,15 uur vóór tot 0,30 uur na hoogwater en van 11,30 uur tot 12,15 uur na hoogwater in Hellevoetsluis, wordt zo een fout gemaakt daar deze intervallen elk 45 minuten beslaan.

Deze fout wordt echter bij de volgende stap geëlimineerd.

De gevonden transportcomponenten per uur worden nu per punt voor de tijdsintervallen 1 t/m 11 gesommeerd en vermenigvuldigd met 700. (Er zijn 700 getijden per jaar).

Daar de tijdsintervallen 0 en 12 een periode van 45 minuten beslaan, worden deze afzonderlijk gesommeerd en vermenigvuldigd met $\frac{3}{4} \times 700$ en opgeteld bij het jaartransport voor het tijdsinterval 1 t/m 11.

Zie tabel 7 en 8; in deze tabellen zijn de transporten uitgedrukt in m^3/m' . jaar.

Tabel VIII

Verzameltabel van de transportcapaciteitcomponenten in de x-richting.

Vak (1) y,x	$T_1 t/m T_{11}$ (2) $\frac{m^3}{m' \text{ getij}}$	700x(2) (3) $\frac{m^3}{m' \text{ jaar}}$	$T_0 + T_{12}$ (4) $\frac{m^3}{m' \text{ getij}}$	700x3/4x(4) (5) $\frac{m^3}{m' \text{ jaar}}$	(3)+(5) (6) $\frac{m^3}{m' \text{ jaar}}$
14,17	0	0	0	0	0
11,18	0	0	0	0	0
12,18	-0,0153	- 10,7	0	0	- 10,7
13,18	-0,0975	- 67,9	-0,0095	- 5,0	- 72,9
14,18	-0,3274	-229,2	-0,0647	-34,0	-263,2
8,19	0	0	0	0	0
9,19	-0,0057	- 4,0	0	0	- 4,0
10,19	-0,0458	- 32,1	-0,0084	- 4,4	- 36,5
11,19	-0,1981	-138,6	-0,0109	- 5,7	-144,3
12,19	-0,2877	-201,4	-0,0120	- 6,3	-207,7
13,19	-0,1275	- 89,3	-0,0132	- 6,9	- 96,2
14,19	+0,1280	+ 89,6	-0,0063	- 3,3	+ 86,3
6,20	0	0	0	0	0
7,20	0	0	0	0	0
8,20	-0,0104	- 7,3	0	0	- 7,3
9,20	-0,0424	- 29,7	-0,001	- 0,6	- 30,3
10,20	-0,0030	- 2,1	0	0	- 2,1
11,20	+0,0400	+ 28,0	0	0	+ 28,0
6,21	0	0	0	0	0
7,21	-0,0584	- 40,9	-0,0012	- 0,6	- 41,5
8,21	-0,1038	- 72,7	0	0	- 72,7
4,22	0	0	0	0	0
5,22	-0,0303	- 21,2	0	0	- 21,2
6,22	-0,2530	-177,1	-0,0045	- 2,4	-179,5
2,23	0	0	0	0	0
3,23	0	0	0	0	0
4,23	-0,0821	- 57,5	0	0	- 57,5
5,23	-0,1555	-108,9	0	0	-108,9
1,24	0	0	0	0	0
2,24	0	0	0	0	0
3,24	-0,1543	-108,0	0	0	-108,0
1,25	0	0	0	0	0
2,25	-0,4505	-315,4	-0,0202	-10,6	-326,0

Tabel IX

Verzameltabel van de transportcapaciteitcomponenten in de y-richting.

Vak y,x (1)	$T_1 t/m T_{11}$ $\frac{m^3}{m' \text{ getij}}$ (2)	$700x(2)$ $\frac{m^3}{m' \text{ jaar}}$ (3)	$T_0 + T_{12}$ $\frac{m^3}{m' \text{ getij}}$ (4)	$700x3/4x(2)$ $\frac{m^3}{m' \text{ jaar}}$ (5)	(3)+(5) $\frac{m^3}{m' \text{ jaar}}$ (6)
14,17	0	0	0	0	0
11,18	0	0	0	0	0
12,18	+0,0307	+ 21,5	0	0	+ 21,5
13,18	+0,5565	+389,6	+0,0334	+17,5	+407,1
14,18	+0,8841	+590,9	+0,1449	+76,1	+667,0
8,19	0	0	0	0	0
9,19	+0,0156	+ 10,9	0	0	+ 10,9
10,19	+0,2592	+181,6	+0,0314	+16,5	+198,1
11,19	+0,6055	+424,2	+0,0406	+20,4	+444,6
12,19	+0,5912	+413,9	+0,0304	+16,0	+429,9
13,19	+0,2803	+196,2	+0,0228	+12,0	+208,2
14,19	-0,0626	- 43,8	+0,0186	+ 9,8	- 34,0
6,20	0	0	0	0	0
7,20	0	0	0	0	0
8,20	+0,0088	+ 6,2	0	0	+ 6,2
9,20	+0,0220	+ 15,4	+0,0018	+ 1,0	+ 16,4
10,20	+0,0204	+ 14,3	0	0	+ 14,3
11,20	-0,0471	- 33,0	0	0	- 33,0
6,21	0	0	0	0	0
7,21	+0,0493	+ 34,5	+0,0014	+ 0,8	+ 35,3
8,21	+0,1310	+ 91,7	0	0	+ 91,7
4,22	0	0	0	0	0
5,22	+0,0847	+ 59,3	0	0	+ 59,3
6,22	+0,4388	+307,2	+0,0078	+ 4,1	+311,3
2,23	0	0	0	0	0
3,23	0	0	0	0	0
4,23	+0,0876	+ 61,3	0	0	+ 61,3
5,23	+0,1821	+127,5	0	0	+127,5
1,24	0	0	0	0	0
2,24	0	0	0	0	0
3,24	+0,1802	+126,1	0	0	+126,1
1,25	0	0	0	0	0
2,25	+0,5574	+390,2	-0,0978	-53,1	+338,9

Op bijlage 14 zijn de berekende zandtransportcomponenten uitgezet.

Daar de bodemveranderingen voor dezelfde vakindeling berekend moeten worden, zijn de transportcomponenten eerst gemiddeld, zodat de componenten aan de randen van de vakken waarin deze werkzaam zijn, bekend zijn. Hiermede zijn voor elk vak de transportgradiënten berekend.

De bodemverandering is nu gevonden door de verschillende gradiënten te vermenigvuldigen met de breedte waarover ze werken, te sommeren, en deze som te delen door het oppervlak van het vak.

In tabel X is deze berekening uitgevoerd, waarbij in de laatste kolom het verschil is gegeven tussen opgemeten waarden en sedimentatie of erosie ten gevolge van de golven zoals berekend door A.Zwols.

De laatste twee kolommen geven dus vergelijkbare waarden weer.

Tabel X

Bodemveranderingen per vak

Vak	(transportcapaciteit x b) oppervlak	= Δ d [m]	Δ d volgens Zwols
2,24	$\frac{(+163,0 - 63,1)400}{160.000}$	+0,25	+0,03
2,23	0	0	-1,48
3,23	$\frac{(+54,0 - 30,7)400}{160.000}$	+0,03	+0,12
4,22	$\frac{+28,7 \times 400 - 29,7 \times 370}{120.000}$	+0,01	+0,07
5,22	$\frac{+29,7 \times 370 + (65,0 - 185,3)400 - 10,6 \times 330}{159.000}$	-0,26	+0,46
6,21	$\frac{(+89,7 - 17,6)400}{160.000}$	+0,18	-1,25
6,20	0	0	-0,62
7,20	$\frac{(+20,7 - 3,1)400}{160.000}$	+0,04	-0,79
8,20	$\frac{(+3,1 + 40,0 - 11,3 - 3,6)400}{160.000}$	+0,07	+0,04
8,19	$\frac{+3,6 \times 400 - 5,4 \times 225}{70.000}$	+0,02	+1,0
9,19	$\frac{+5,4 \times 225 + 17,1 \times 400 - 104,5 \times 290}{104.000}$	-0,21	+0,76
10,19	$\frac{+104,5 \times 290 + (19,3 - 321,3)400}{147.500}$	-0,62	+0,73
11,19	$\frac{(+321,3 + 58,1 - 437,2 - 72,2)400}{160.000}$	-0,35	-0,09
11,18	$\frac{+72,2 \times 400 - 10,7 \times 225}{57.000}$	+0,46	+0,50
12,18	$\frac{+10,7 \times 225 - 214,3 \times 370 + 154,7 \times 400}{120.000}$	-0,12	+0,38
13,18	$\frac{(+214,3 \times 370 + (84,5 - 53,7)400 - 36,5 \times 330)}{159.000}$	+0,49	-0,43

Een vergelijking van de laatste twee kolommen van tabel X laat zien dat de berekende bodemveranderingen resultaten geven die in vergelijking met de opgemeten bodemveranderingen variëren van 1.48 m te veel berekend tot 1.35 m te weinig berekend.

Dit verschil is van dezelfde orde grootte als de berekende bodemveranderingen.

In eerste instantie is gedacht dat dit veroorzaakt kan zijn doordat het vierkantennet wel een erg grove verdeling is in vergelijking met de verdeling die A. Zwols voor zijn berekening heeft aangehouden, n.l. vakken tussen twee opeenvolgende dieptelijnen (zie bijlage 12).

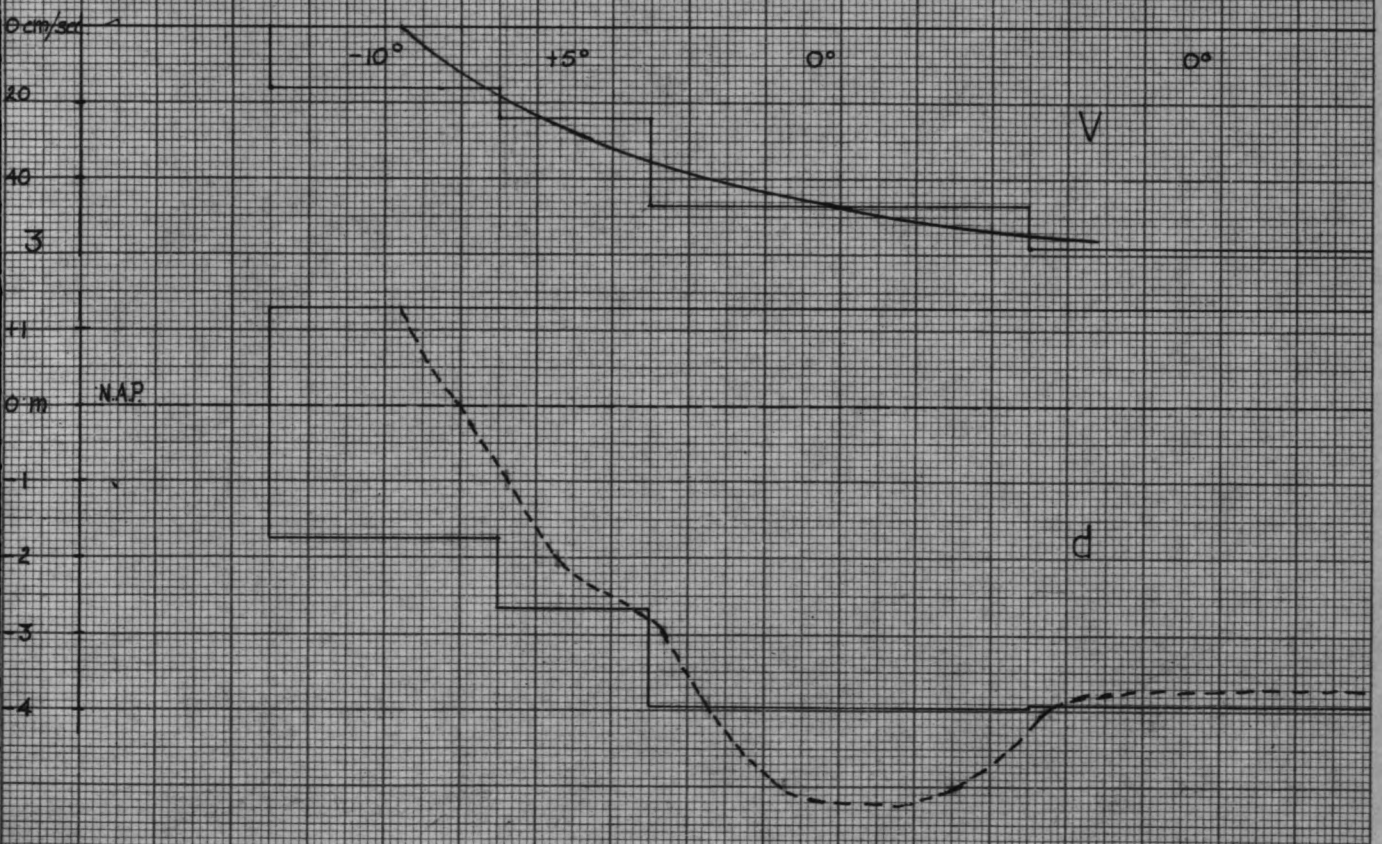
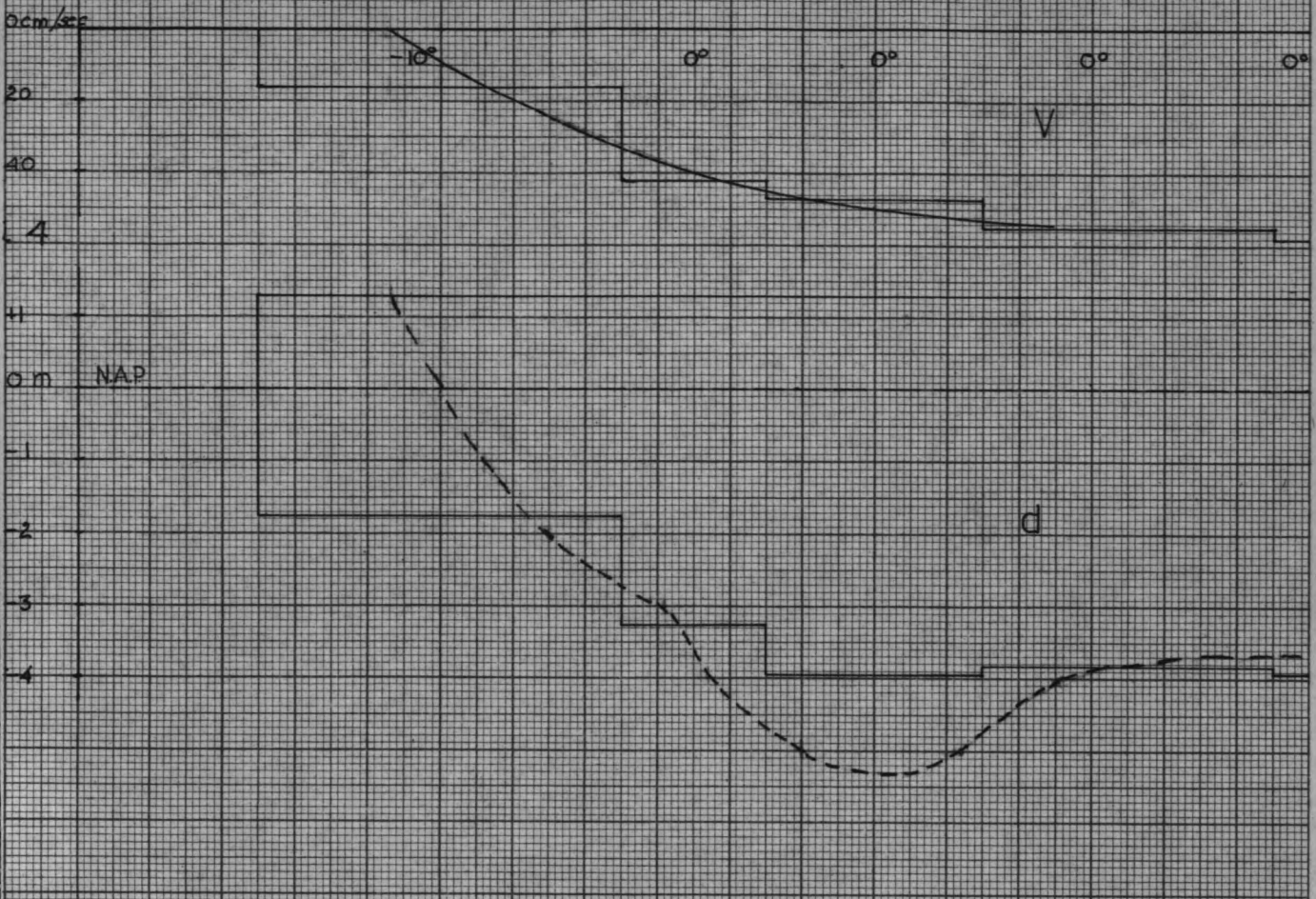
Om dit te controleren zijn in de raaien 3⁽¹⁾ en 4 (zie bijlage 13) nogmaals de transportcapaciteiten uitgerekend, en voor de vakken begrensd door de twee raaien en twee opvolgende dieptelijnen de bodemveranderingen berekend.

Hierbij zijn de berekende snelheden benaderd door een kromme, en is de geschematiseerde bodemligging vervangen door de uit een kaart opgemeten bodemligging (zie bijlage 15).

Daar uit de vorige berekening is gebleken dat voor dit gebied het transport in hoofdzaak in de tijdsintervallen 3 t/m 6 en 9 t/m 11 uur na hoogwater in Hellevoetsluis plaats vindt, is alleen de transportcapaciteit in deze periode berekend.

De resultaten zijn weergegeven in tabel XI.

¹⁾ Tussen deze raaien is de stroomrichting evenwijdig aan de dieptelijnen. De raaien 3 en 4 zijn nu zodanig gekozen, dat ze bij benadering loodrecht op de stroomrichting en loodrecht op de dieptelijnen staan.



Geschematiseerde en benaderende snelheden en diepten
 11.00 uur na hoogwater

Tabel XI

Bodemveranderingen tussen de raaien 3 en 4 in m'.

i.d. (1)	getij (2)	golven (3)	totaal (4) (2)+(3)	opgemeten (5)	verschil (6) (5)-(4)
4-5	+0,31	0	+0,31	+0,45	+0,14
3-4	-0,02	+1,20	+1,18	+2,40	+1,22
2-3	+0,31	-0,21	+0,10	+0,82	+0,72
1-2	-0,02	-0,39	-0,41	+0,79	+1,20
0-1	0	-0,09	-0,09	-0,05	+0,04

Ook uit deze tabel blijkt een aanmerkelijk verschil tussen berekening en opmeting. In het volgende hoofdstuk zal op mogelijke oorzaken hiervan worden teruggekomen.

SLOT.BESCHOUWING

VIII. SLOTBESCHOUWING.

Nu de berekening een aantal vergelijkbare uitkomsten heeft opgeleverd, lijkt het zinvol de gevolgde methode aan een kritische beschouwing te onderwerpen.

Vaak werden min of meer intuïtief aannamen gedaan of criteria ingevoerd, welke mogelijk de betrouwbaarheid van de berekening nadelig hebben beïnvloed. In het navolgende zal aan een aantal van deze problemen aandacht worden besteed, opdat een uitspraak kan worden gedaan over de bruikbaarheid van de methode.

1. In hoeverre is de hypothese juist, dat de sedimentbeweging kan worden beschouwd als een superpositie van de onafhankelijk van elkaar bepaalde sedimenttransporten door golven en getijstroom?

Op fysische gronden kan gemakkelijk worden ingezien dat de gevolgdemethode principieel onjuist is. Het is een bekend verschijnsel dat golven het bodemmateriaal opwerpen, waarbij de stroom (littoral drift, getijstroom) voor het belangrijkste transport zorgt.

Dat wil echter niet zonder meer zeggen dat de gevolgde methode onbruikbaar zou zijn.

Eén en ander moet blijken uit de gevonden resultaten.

Uit de vergelijking van die resultaten wordt echter vrijwel geen enkele wetmatigheid zichtbaar. De verschillen tussen de diverse erosie- en sedimentatiewaarden zijn van de zelfde orde van grootte als die waarden zelf. Het kan mogelijk zijn dat dit komt doordat in het Haringvlietgebied (oude situatie) een -dynamisch- evenwicht heerste.

Daarom kan over de bruikbaarheid van de methode moeilijk een uitspraak worden gedaan. Het verdient aanbeveling de berekening nogmaals uit te voeren voor een kustvak waarin geen evenwicht heerst en waar een duidelijk gericht transport valt waar te nemen of te verwachten is.

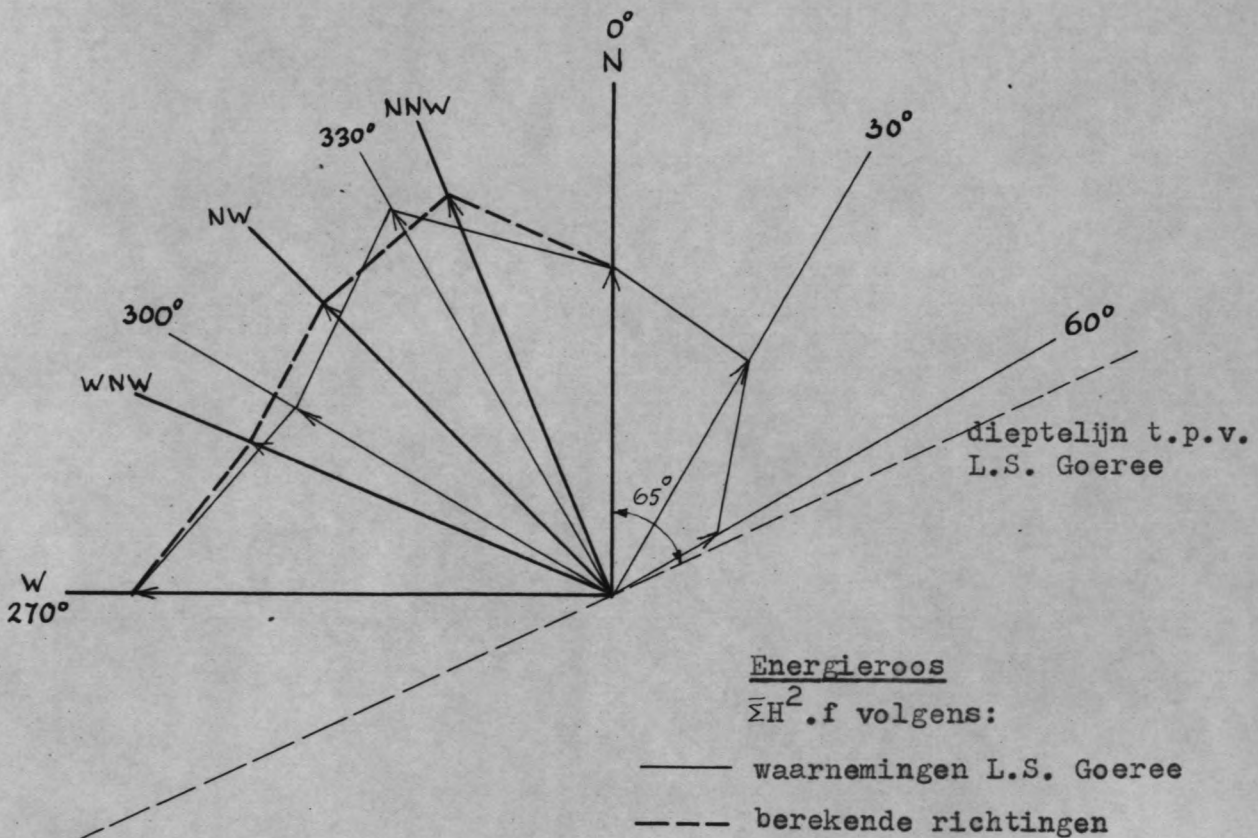
2. In hoeverre is de schematisatie van het golfpatroon tot vijf richtingen afwijkend van de werkelijkheid?

Hoewel aan schematisatie niet valt te ontkomen, is het in ieder geval mogelijk om uitgaande van de energieroos voor de oorspronkelijke waarnemingen op het L.S.Goeree, een vergelijking te maken met de energieflex voor de vijf beschouwde richtingen.

Daartoe wordt voor elke richting de component $\bar{\Sigma} H^2 \cdot f$ bepaald. (H= golfhoogte, f = frekwentie van voorkomen)
 Door de componenten met $\sin 2\alpha$ te vermenigvuldigen wordt de (relatieve) bijdrage bepaald tot het energietransport evenwijdig aan de dieptelijnen:

Tabel XII.

richting	$\bar{\Sigma} H^2 \cdot f$	$\bar{\Sigma} H^2 \cdot f \cdot \sin 2\alpha$	richting	$\bar{\Sigma} H^2 \cdot f$	$\bar{\Sigma} H^2 \cdot f \cdot \sin 2\alpha$
350°-10°	0,2151	-0,1647	W	0,2360	+0,1809
20°-40°	0,1786	-0,1679	WNW	0,1942	+0,1930
50°-70°	0,0801	-0,0139	NW	0,2026	+0,1277
260°-280°	0,3145	+0,2410	NNW	0,2125	-0,0185
290°-310°	0,2425	+0,2280	N	0,1612	-0,1235
320°-340°	0,2939	+0,0511			
		—————+ +0,1736			—————+ +0,3596



Uit de tabel valt af te lezen dat de werkelijke (waargenomen) golven een energiestroom veroorzaken in noordelijke richting, welke wordt gerepresenteerd door $\bar{\Sigma} H^2 \cdot f \cdot \sin 2\alpha = +0,1736$
De vijf gekozen richtingen leveren een waarde $\bar{\Sigma} H^2 \cdot f \cdot \sin 2\alpha = +0,3596$ op, dus een keer zo groot ! De verwaarlozing van de richtingen NNO en NO beïnvloedt dus zeker de berekende sedimentbeweging voor de kust van Goeree, waar de dieptelijnen ongeveer de zelfde richting hebben als ter plaatse van het L.S.Goeree.

Voor de kust van Voorne, welke meer NO-ZW gericht is, zullen de berekende en de werkelijke energiestroom minder van elkaar verschillen. Bovendien zullen door refraktie de verschillen nog wat worden verkleind.

3. De golfhoogten zijn groepsgewijs in de berekening verwerkt.
In hoeverre is dit van invloed ?

Op statistische gronden mag worden aangenomen dat het rekenen met golfgroepen van 0,50 m voldoende nauwkeurig is. Het verschil aan te tonen met een berekening volgens kleinere intervallen is niet mogelijk, omdat deze gegevens niet beschikbaar zijn.

4. Hoewel alle golfperiodes voorkomen werd slechts gerekend met één bepaalde periode. (T = 8 sec voor refraktiediagrammen, T = 6 sec voor transportberekening)

De invloed van de periode is relatief klein.

In het deelontwerp vloeistofmechanica werd reeds aangetoond dat de verschillen, welke optreden bij refraktiediagrammen voor resp. 6, 8 en 10 sec, van de zelfde grootte zijn als de menselijke tekenonnauwkeurigheden.

Bij de transportberekening werd een "gemiddelde" periode bepaald via de vergelijking voor de gemiddelde groeps-snelheid:

$$\bar{c}_g = \frac{\bar{\Sigma} H_{gi}^2 \cdot c_{gi} \cdot f}{\bar{\Sigma} H_{gi}^2 \cdot f}$$

Aan de gemiddelde periode is aldus het gewicht toegekend van het optredende energietransport.

5. Niveaueverschillen werden buiten beschouwing gelaten.

(eb en vloed, opwaaiing)

Dat de invloed hiervan op de refraktiediagrammen klein is werd eveneens aangetoond in het deelontwerp vloeistofmechanica.

Sedimenttransportverschillen bij eb en vloed zullen elkaar min of meer compenseren.

6. De konstruktie van de refraktielijnen gebeurt sprongsgewijs en levert vrij grote tekenonnauwkeurigheden op.

Bij de toegepaste methode valt daar niet veel aan te veranderen. Tegenwoordig worden echter ook refraktieberekeningen uitgevoerd met behulp van computers welke aanzienlijk nauwkeuriger kunnen zijn.

7. Aangenomen wordt dat de energie zich verplaatst volgens banen welke worden begrensd door refraktielijnen.

Dit impliceert dat bij twee kruisende golfstralen de energie vóór het kruispunt door breking wordt vernietigd. Dit blijkt echter niet juist te zijn. Want wanneer in de golfkam een plaatselijke verhoging optreedt, zal door het onstane verhang de energie zijdelings gaan afvloeien (diffraktie). Is de hoek waaronder de golfstralen elkaar snijden vrij groot dan kan het voorkomen dat twee golfkammen elkaar kruiselings passeren.

8. Het meten van de grootheden φ en b . moest door het grillige verloop van de dieptelijnen veelal zeer globaal gebeuren. Ook daardoor zullen afwijkingen in de berekening zijn gekomen. Een oplossing zou kunnen zijn het tekenen van een groter aantal golfstralen, doch gezien de reeds eerder genoemde tekenonnauwkeurigheden zal de juistheid van de φ en b -waarden niet toenemen. Daarom is konstruktie met behulp van een computer de beste methode.

9. De gegevens van het L.S.Goeree werden verkregen door visuele waarnemingen. Hoewel er enige wetmatige overeenkomst lijkt te zijn met simultaan verrichte metingen van het booreiland Triton (zie nota K-288 van de Deltadienst), dient men zich zeer sceptisch op te stellen t.a.v. de nauwkeurigheid van

de waarnemingen en de juistheid van de korrelaties.

10. In hoeverre is de aanname $[H_{s.cr.}]_{br} = 0,4$ juist, en binnen welke grenzen liggen de afwijkingen?

Uit metingen is gebleken dat de coëfficiënt kan variëren tussen 0,3 en 0,5. Een afwijking van 25% is dus mogelijk. Om te weten te komen wat hiervan de konsekwenties zijn voor de overschrijdingsfrequenties beschouwen we bijlage 28 uit het deelontwerp vloeistofmechanica (overschrijdingsfrequenties van H_g en $H_{1/3}$ voor de richting West.)

$H_{1/3} = 1,00$ m heeft een overschrijding van 64 %,

$H_{1/3} = 1,25$ m heeft een overschrijding van 45 %,

$H_{1/3} = 0,75$ m heeft een overschrijding van 83 %.

Een oorspronkelijke afwijking van 25 % in de coëfficiënt leidt tot afwijkingen van + 30 % en - 30 % in de overschrijdingsfrequenties. In bepaalde gevallen kunnen deze verschillen nog groter worden.

11. In hoeverre worden golven (golfvorm, breking e.d.) beïnvloed door getijstroom.

Dit valt het beste toe te lichten aan de hand van een voorbeeld. Veronderstel dat golven worden beschouwd in water van 5 m diepte. De golfsnelheid kan globaal worden geseld op $\sqrt{gd} = 7$ m/sec. Nu wordt tevens verondersteld dat ter plaatse een getijstroom optreedt, recht tegen de golfvoortplantingsrichting in, met een stroomsnelheid $u = 1$ m/sec. Met behulp van grafieken uit lit. 8 kunnen bij $u/c_0 = 1/7 = 0,143$ een aantal verhoudingsgetallen worden bepaald:

$$L/L_0 = 0,70 \quad (\text{golflengte})$$

$$c/c_0 = 0,84 \quad (\text{voortplantingssnelheid})$$

$$H/H_0 = 1,87 \quad (\text{golfhoogte})$$

$$s/s_0 = 1,34 \quad (\text{steilheid})$$

Hoewel hier een vrij ongunstig voorbeeld werd gekozen is de invloed van de stroom op de golfhoogte opvallend groot.

De golven zullen in dit geval in een vroeger stadium gaan breken. Toch is aangetoond dat getijstroomen geen essentiële grote afwijkingen in het gemiddelde brekingsregiem veroorzaken. Dit kan komen doordat enerzijds de stroomsnelheden aanzienlijk lager zijn dan in het hiervoor vermelde voorbeeld, terwijl anderzijds de afwijkingen door een veelheid van combinaties worden uitgemiddeld.

12. Is sedimenttransport evenredig met energietransport ?

Metingen hebben aangetoond dat deze veronderstelling in redelijke mate opgaat voor de component evenwijdig aan de dieptelijnen. Reeds eerder werd overigens betoogd dat de transportfunctie met een redelijke nauwkeurigheid benaderd kan worden door een lineair verband met de schuifspanning langs de bodem. Deze schuifspanning is echter een lineaire functie van de kinetische energie van de stroom. een lineair verband tussen het verlies van de golfenergie en het vermogen om sedimenten te transporteren ligt als eerste benadering voor de hand. Voor de component loodrecht op de kust blijkt dit echter niet op te gaan. De oorzaak zal gezocht moeten worden in het ontstaan van een "natuurlijk talud" en het optreden van een retourstroom.

13. De sedimentbeweging loodrecht op de dieptelijnen is niet in de berekening opgenomen. Dit kan met name in het beschouwde bankengebied aanzienlijke afwijkingen opleveren.

14. De berekening van β_s leverde langs de Westplaat nogal afwijkende uitkomsten op. Men kan zich afvragen of de gevonden β_s , welke werd bepaald voor het middelste gedeelte van de westplaat, inderdaad de goede β_s is. De beste controle zou zijn vergelijking met uitkomsten van andere onderzoekers, doch dergelijke gegevens ontbreken hier.

15. Is de getijinvloed voor de Westplaat te verwaarlozen ?

Uit metingen is gebleken dat de stroomsnelheden erg klein zijn, doch de onzekere faktor met betrekking tot de samenwerking van golf en stroom blijft altijd aanwezig.

16. Geldt β_s voor het gehele Haringvliet-gebied, gezien in het licht van de bodemsamenstelling ?

De bodem blijkt in het brekergebied van een vrijwel konstante zandige samenstelling te zijn, zodat β_s geen al te grote afwijkingen zal vertonen

17. C-waarde

Bij de getijberekening is voor het gehele gebied een constante C-waarde aangenomen ($C = 60$).

Hoewel dit in feite onjuist is, is volgens Dr. Dronkers de hierdoor gemaakte fout klein.

18. Zijn de met de getijberekening gevonden snelheden correct?

De berekende snelheden blijken wat richting betreft overeen te komen met de stroommetingen, wat grootte betreft blijken ze kleiner te zijn dan de gemeten stroomsnelheden.

Tabel XIII

Vergelijking van gemeten en berekende stroomsnelheden

Periode	Punt 3		Punt 4	
	Gemeten	Berekend	Gemeten	Berekend
3	0,75	0,41	0,72	0,39
4	0,85	0,45	0,79	0,45
5	0,90	0,46	0,72	0,42
6	0,75	0,36	0,50	0,36
9	0,30	0,43	0,19	0,39
10	0,65	0,56	0,80	0,50
11	0,65	0,51	0,75	0,47

De gemeten waarden van punt 3 dateren van 1965, van punt 4 uit 1958.

De berekening geldt voor een gemiddeld getij.

De metingen zijn ook bij een ongeveer gemiddeld getij uitgevoerd. Hierbij was de bovenwaterafvoer echter groter dan gemiddeld, zodat uit deze vergelijking geen conclusies getrokken kunnen worden omtrent de juistheid van de berekening.

19. Bij de methode van Morra-Kalinske wordt aangenomen dat:

a) de stroom stationair is

Bij de berekening nu worden de stromen van uur tot uur als stationair beschouwd. Voor grotere snelheden is dit acceptabel, maar voor kleinere snelheden niet daar dan de versnelling een grote rol speelt.

Daar bij kleinere snelheden geen of haast geen zandtransport plaats vindt, is deze aanname acceptabel.

b) Het bodemmateriaal geen cohesie heeft
Dit is in het beschouwde gebied ook zo.

c) Het snelheidsprofiel parabolisch is
Uit gemeten stroomprofielen blijkt dat de snelheidsverdeling grillig verloopt.
Een parabolische benadering is dan ook onnauwkeurig.
Dit geldt echter voor elke aangenomen snelheidsverdeling.

20. Geeft de methode Morra-Kalinske betrouwbare uitkomsten?

Uit een serie vergelijkende berekeningen en metingen voor de Oosterschelde blijkt de betrouwbaarheid van deze methode afhankelijk te zijn van de valsnelheid en het getal van Manning.

De aanname dat de korrelgrootte in het hele gebied hetzelfde is, blijkt weinig invloed te hebben op de uitkomsten. Zowel het getal van Manning als de valsnelheid is door Rijkswaterstaat gegeven.

Volgens Morra geeft de valsnelheid volgens Rubey de meest nauwkeurige uitkomsten.

De gegeven valsnelheid blijkt kleiner dan die volgens Rubey. Dit impliceert dat de berekende transportcapaciteiten te hoog kunnen zijn.

21. Bij de berekening zijn de invloed van de Coriolisversnelling en van de spiraalstroming die beide in bochten optreden, verwaarloosd.

Aan de hand van het deelontwerp "Literatuuronderzoek naar spiraalstromen" is een benaderende berekening gemaakt naar de verhouding $V_n : V_r$

waarbij $V_r = V(\text{spiraalstroom} + \text{coriolis})$

Deze blijkt ca. 100 te zijn voor $n = 0,01$. Voor grotere n wordt deze verhouding nog groter.

Hieruit kan de conclusie getrokken worden dat de spiraalstroom de grootte van de berekende stroomsnelheden niet beïnvloed. De richting van de berekende stroomsnelheid wordt wel beïnvloed. De maximale draaiing van de stroom-

richting ten gevolge van samenwerking van de spiraalstroming en de coriolisversnelling, blijkt echter kleiner dan een graad.

Dit is bijzonder weinig als bedacht wordt dat bij de berekening van de stroomrichting deze op $n \times 5$ afgerond is, zodat deze invloed inderdaad verwaarloosbaar is.

22. Wat is de invloed van de verdeling van het gebied in vakken?

Hierbij moet met twee factoren rekening gehouden worden:

a) hoe kleiner de vakken, hoe nauwkeuriger de snelheid en de diepte per vak, wat leidt tot een juistere bepaling van de transportcapaciteit.

b) bij het bepalen van het transport uit de transportcapaciteit treedt een faseverschil op.

Wordt in een bepaald punt de transportcapaciteit overschreden, dan zal er zand sedimenteren.

Door de stroomsnelheid zal dit echter stroomafwaarts gebeuren.

Dit faseverschil kan, heel grof, benaderd worden met

$x = \frac{1}{2} d \cdot V_m : W$ waarin x de horizontale verplaatsing is.

Voor $d = 6\text{m}$, $V_m = 0,5\text{m}$ en $W = 0,0175\text{ m}$ wordt zo het faseverschil 85 m.

Een vakindeling van $100 \times 100 \text{ m}^2$ lijkt voor het gebied bij de kust dan ook beter.

23. Mag het rollend transport verwaarloosd worden?

Om deze vraag te kunnen beantwoorden is voor verschillende waarden van D , d en V_m zowel het rollend als het zwevend transport berekend.

De resultaten zijn weergegeven op bijlagen 16 en 17.

Uit deze bijlagen kan geconcludeerd worden dat voor diepte groter dan twee meter het rollend transport verwaarloosbaar is ten opzichte van het zwevend transport. Voor diepte kleiner dan twee meter mag dit niet zondermeer, maar dan zijn beide transportcapaciteiten toch klein, zodat de gemaakte fout niet groot zal zijn.

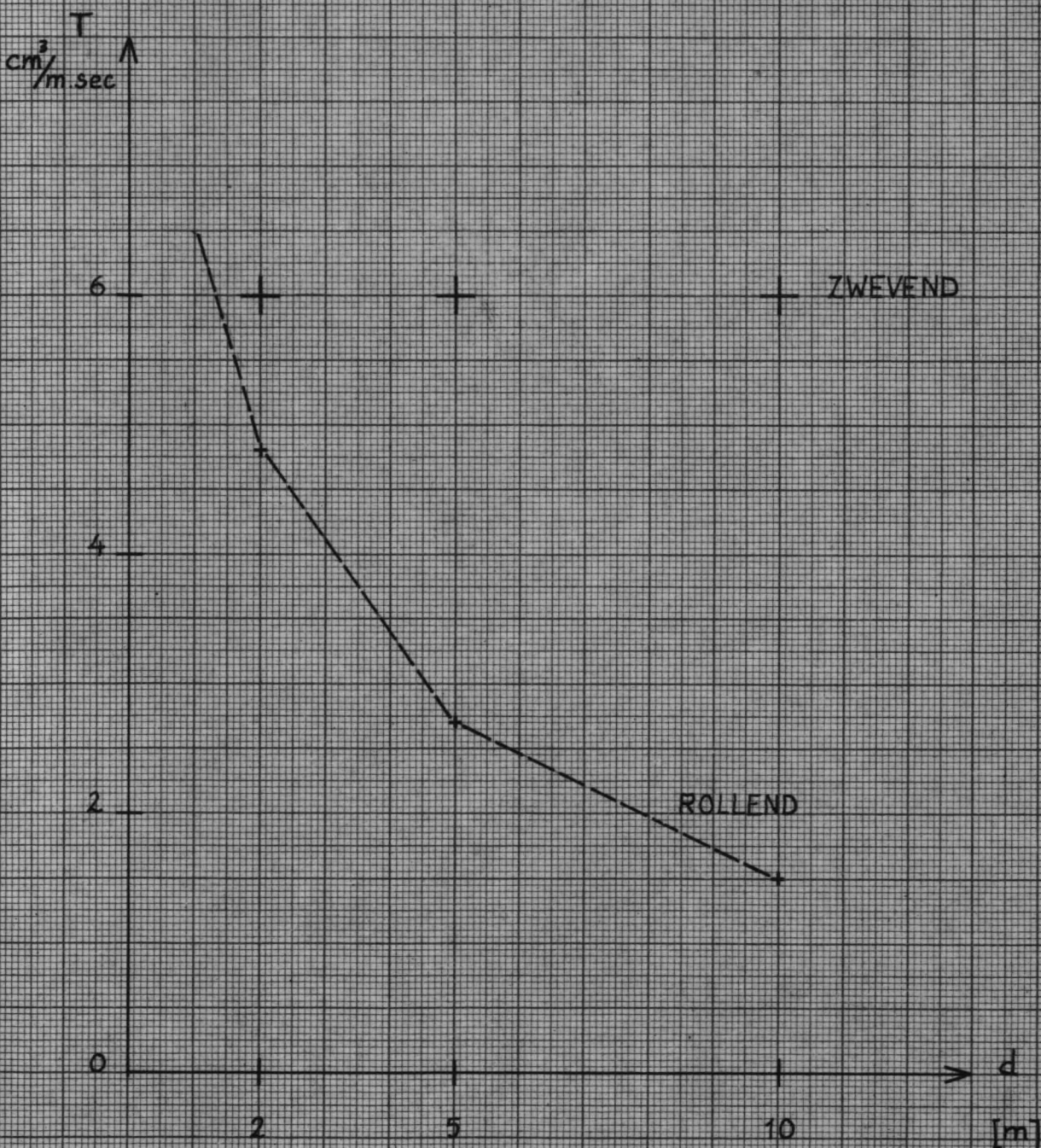
24. De berekening is uitgevoerd voor een gemiddeld getij

Door dit met 700 te vermenigvuldigen, is de verandering per jaar berekend.

Hieruit kan de conclusie getrokken worden dat een gemiddeld getij ook een gemiddeld transport veroorzaakt. Dit is zeker niet waar.

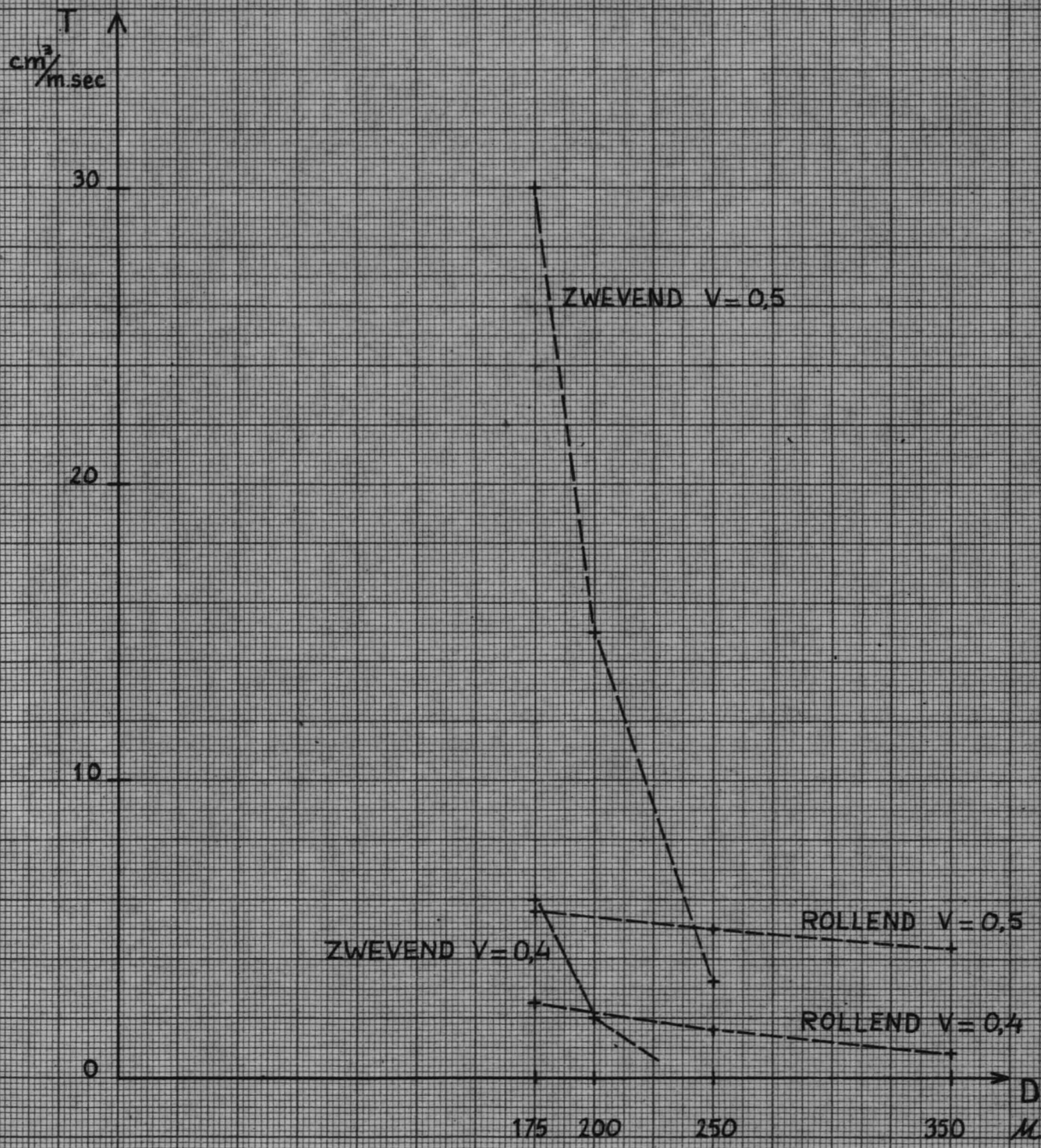
VERGELIJKING ZWEVEND EN ROLLEND TRANSPORT VOOR :

$V = 0,4 \text{ m/sec}$; $D = 175 \text{ M}$; $d = \text{VARIABEL}$



VERGELIJKING ZWEVEND EN ROLLEND TRANSPORT VOOR:

$V = 0,5$ EN $V = 0,4$; $D = \text{VARIABEL}$; $d = 5\text{m}$



SYMBOLEN. (voor golven)

- a= d= diepte (m)
- B = afstand tussen twee dieptelijnen (m)
- b = afstand tussen twee golfstralen (m)
- C = voortplantingssnelheid van een sinusgolf (m/sec)
- C_g = voortplantingssnelheid van de golfenergie (groeps-
snelheid) (m/sec)
- d= a= waterdiepte (m)
- E = gemiddelde enrgie van een sinusgolf per eenheid van
het zeeoppervlak ($\text{kg} \cdot \text{m}^2 / \text{sec}^2 \cdot \text{m}^2$)
- f = aantal waarnemingen
- g = versnelling van de zwaartekracht ($9,813 \text{ m/sec}^2$)
- H = golfhoogte; vertikale afstand tussen golftop en golfdal (m)
- H_G = golfhoogte waargenomen op L.S.Goeree (m)
- $H_s = H/3 =$ significante golfhoogte (gemiddelde van 1/3 deel
hoogste golven) (m)
- k = refraktiekoefficiënt voor golfenergie
- L = golflengte van een sinusgolf (m)
- m_o = moment van het golfspektrum.
- n = snelheidsfaktor
- N = energiestroom (vermogen) per eenheid van kustlengte
($\text{kgm}^2 / \text{sec}^3 \cdot \text{m}.$)
- N_b = energiestroom per eenheid van golfkambreedte ($\text{kgm}^2 / \text{sec}^2 \cdot \text{m}$)
- $Q_s = \beta_s \cdot \Delta N \cdot T_j =$ komponente van het vermogen per eenheid van kust-
lengte om sediment te verplaatsen (transportfunctie)
evenwijdig met de dieptelijnen (m^3)
- q = overschrijdingsfrequentie in procenten van de tijd.
- s = koördinaat in de richting van de dieptelijnen.
- T = periode van een sinusgolf (sec)
- T_k = kenmerkende periode van een onregelmatig golfveld (sec)
- T_{eq} = equivalente golfperiode (sec)
- T_j = tijdsinterval (sec)
- β_s = transportkoefficiënt behorende bij Q_s ($\text{sec} \cdot \text{m}^2 / \text{kg}$)
- $\gamma =$ evenredigheidsfaktor voor de herleiding van de
signifikante golfhoogte uit de brandingsdiepte.
- ρ = specifieke dichtheid (kg/m^3)
- Σ = sommatieteken.
- φ = hoek tussen een golfkam en een dieptelijn. (graden)

Symbolen voor het getij

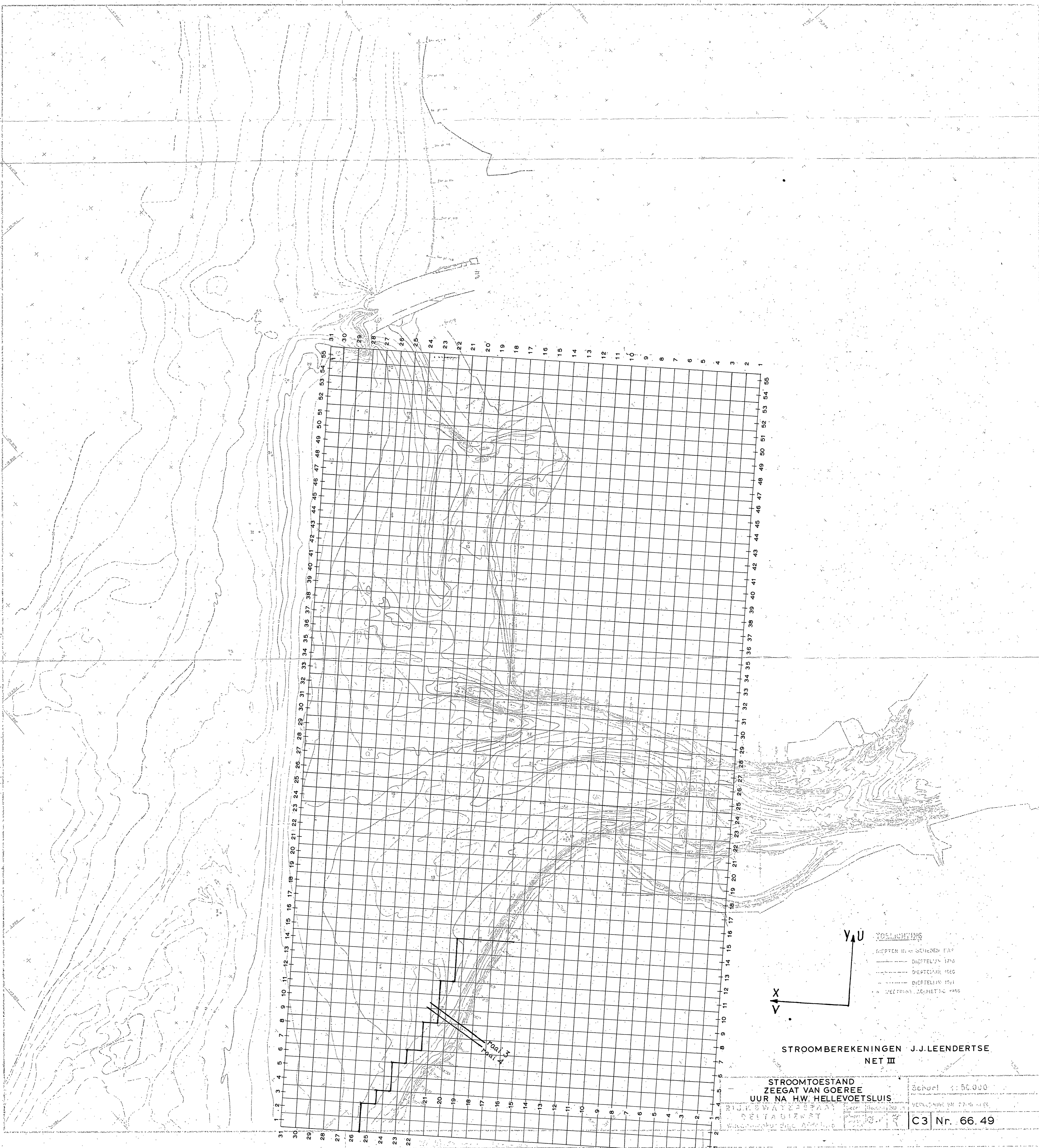
C	=	coëfficiënt van Chézy
D	=	korreldiameter
d	=	waterdiepte
g	=	versnelling van de zwaartekracht
I	=	Energieverhang
K	=	constante van Karman
n	=	ruwheidsfactor van Manning
q	=	graad van de snelheidsparabool
S	=	zandgehalte
T	=	zandtransportcapaciteit
t	=	parameter
U	=	snelheid in de y-richting
V	=	snelheid in de x-richting of in de stroomrichting
V _m	=	gemiddelde snelheid in de stroomrichting
W	=	valsnelheid zand in stil water
z	=	hoogte boven de bodem
$\Delta F_{(z)}$	=	gehalte bodemmateriaal met valsnelheid W
i.d.	=	bodemligging t.o.v. NAP
s.e.	=	waterspiegel ten opzichte van NAP
ξ	=	turbulente uitwisselingscoëfficiënt
η	=	relatieve hoogte boven de bodem = $\frac{z}{d}$
θ	=	hoek met de positieve y-as
ρ	=	massa
τ	=	schuifspanning

indices b: bij benadering

Literatuur.

1. Jac. Haring ; Inhoudsveranderingen en profielen voor de mond van de Brielse Maas. 1951-1964
Direktie benedenrivieren Rijkswaterst. 2delen.
2. ir. P.A. Walhout ; Onderzoekingen ten behoeve van prognose m.b.t. veranderingen in de bodemfiguratie van het Zeegat van Goeree na uitvoering van het Deltaplan, Nota K-301, R.W.S., Deltadienst, Waterloopkundige afd. maart 1967.
3. Drs. J.H.J. Terwindt; Sedimentologisch en morfologisch onderzoek in het Nederlandse Deltagebied, 1958
R.W.S. Deltadienst, Waterloopkundige afd.
Rapport nr. 12, juli 1959.
4. L.G.M. mededelingen; Artikel over erosiebestendigheid van grondsoorten tegen waterstromingen.
Deel IX, no 3, Delft, januari 1965.
5. Waterloopkundig laboratorium ; Erosiebestendigheid zand-sliblagen.
; Rapport Modelonderzoek R 293.
Waterloopk. lab. Delft.
6. Driemaandelijks berichten van de Deltawerken.
7. ir. J.N. Svasek ; Invloed van brekende golven op de stabiliteit van zandige kusten.
T.H. Delft. Afd. der Weg- en Waterbouwkunde.
8. P. Groen ; Zeegolven, Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut. 1949.
9. Prof. P. Ph. Jansen ; College Waterbouwkunde langs zandige kusten.
10. Nota K-288 ; R.W.S., Deltadienst, Waterloopkundige afd. Korrelatie van gegevens Triton 1964/65 met overeenkomende gegevens van de L.S. Goeree. 1968.
11. tekeningen G.66.31 ; Noord- en Westkust van Goeree, R.W.S., Deltadienst, waterloopkundige afd.
bladen 1 t/m 29.

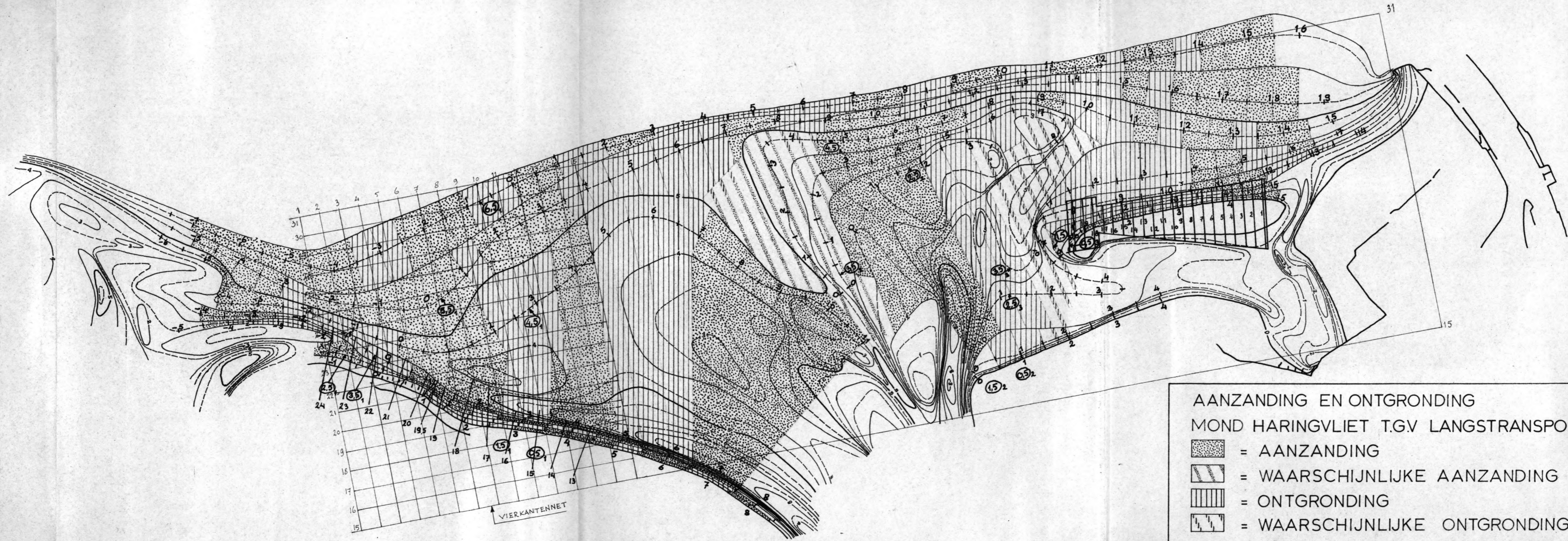
12. R.H.J. Morra : De zandgehalteverticaal bij stationaire stromingen onder evenwichtsvoorwaarden
Directie Benedenrivieren Rijkswaterstaat, 1948
13. R.H.J. Morra : De Zandbeweging In Het Getijgebied
Directie Benedenrivieren Rijkswaterstaat, 1952
14. Prof. L. van Bendegom : Collegedictaat Algemene Waterbouwkunde, deel I
15. Dr. Dronkers : Computerberekening van het getij in de mond van het Haringvliet
Deltadienst, Rijkswaterstaat
16. Jac. Haring : De verhouding van getijvolume en doorstromingsprofiel in de zeegaten Haringvliet, Brouwershavensche Gat, Oosterschelde en in de mond van de Rotterdamsche Waterweg uit alle beschikbare waarnemingen tot heden.
Nota K 271
Waterloopkundige Afdeling, Deltadienst, Rijkswaterstaat
17. : Tekeningen B3.64.11
Stroomtoestand bij gemiddeld getij
Zeegat van Goeree tot Monster
Bladen 80 t/m 92
Waterloopkundige Afdeling, Deltadienst, Rijkswaterstaat
18. : Stroombladen 1956
Stroommetingen in de mond van het Haringvliet
Waterloopkundige Afdeling, Deltadienst, Rijkswaterstaat
19. : Simultane stroom- zout- en slibmeting in Mond Haringvliet 28 en 30 sept!65
Map I, II en III. Waterloopkundige Afdeling, Deltadienst, Rijkswaterst.





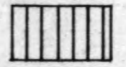

TOELICHTING
 ———— DIEPTEN IN DE SCHIENEN 1950
 - - - - - DIEPTEN IN 1950
 DIEPTEN IN 1950
 DIEPTEN IN 1951
 * METRISE DEPTEN 1950

STROOMBEREKENINGEN J.J. LEENDERTSE
NET III

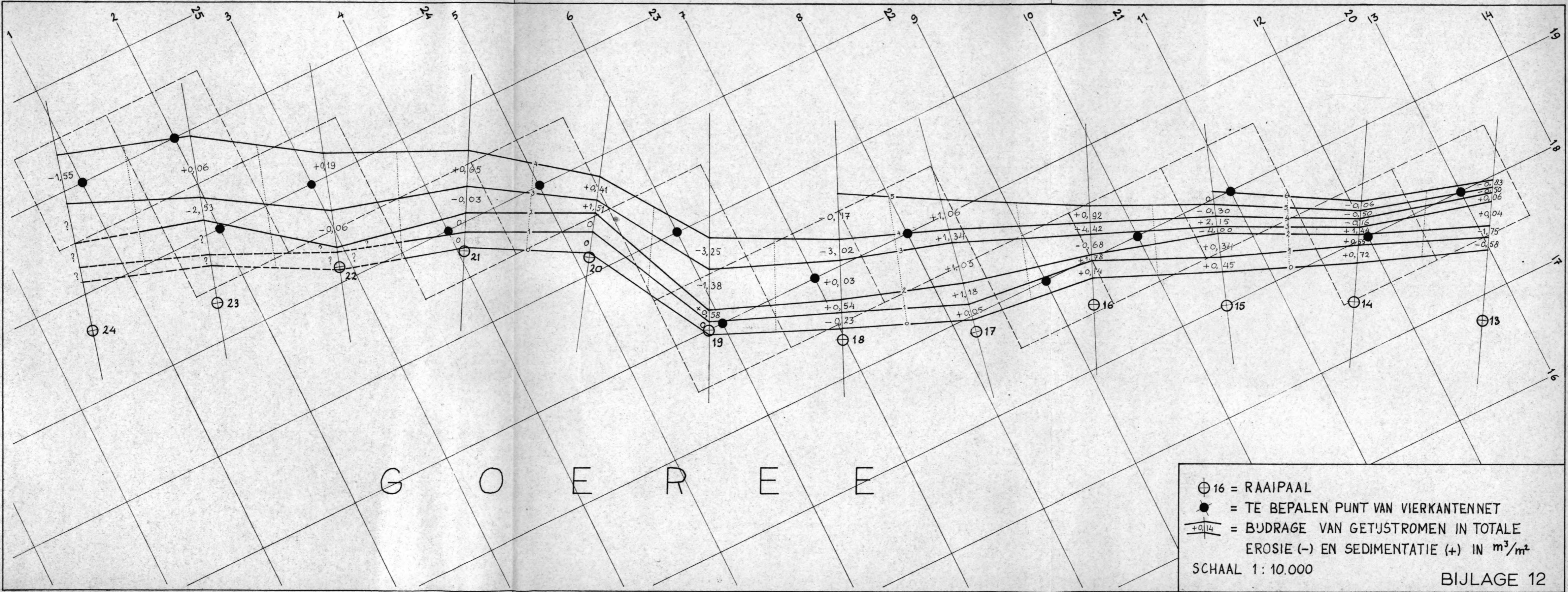
STROOMTOESTAND
 ZEEGAT VAN GOEREE
 UUR NA H.W. HELLEVOETSLUIS
 Schaal 1:50.000
 VERVOLG VAN C2-Nr. 49
 C3 Nr. 66.49



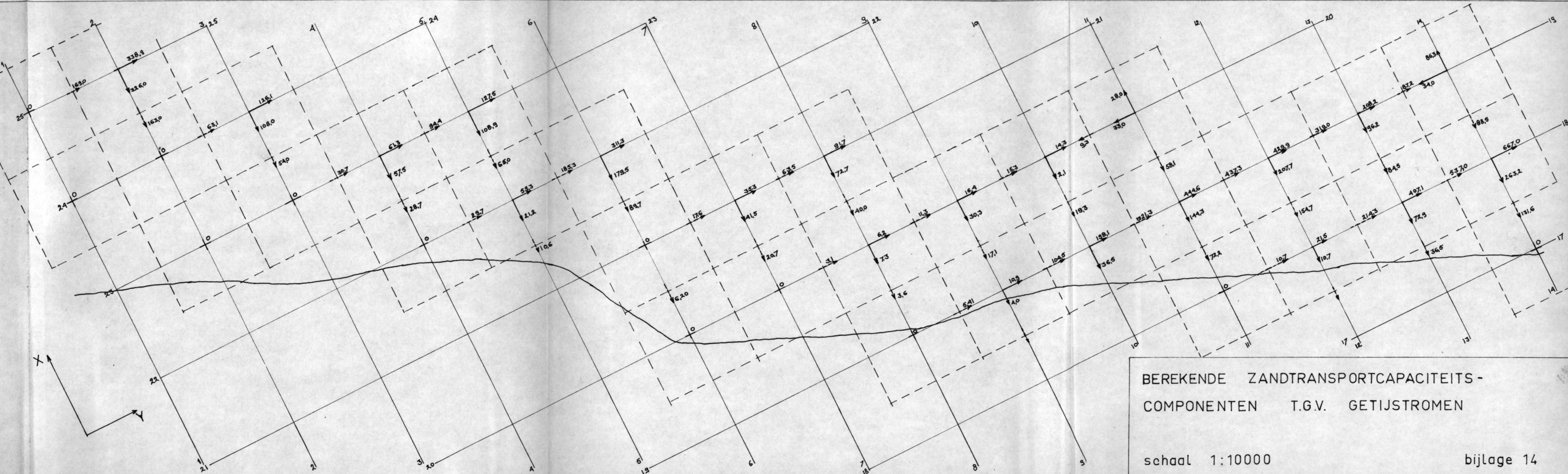
AANZANDING EN ONTGRONDING
 MOND HARINGVLIET T.G.V. LANGSTRANSPOORT

	= AANZANDING
	= WAARSCHIJNLIJKE AANZANDING
	= ONTGRONDING
	= WAARSCHIJNLIJKE ONTGRONDING

BIJLAGE 7



⊕ 16 = RAAIPAAL
 ● = TE BEPALEN PUNT VAN VIERKANTENNET
 $\frac{+0,14}{|}$ = BIJDRAGE VAN GETUJSTROMEN IN TOTALE EROSIE (-) EN SEDIMENTATIE (+) IN m^3/m^2
 SCHAAL 1: 10.000



BEREKENDE ZANDTRANSPORTCAPACITEITS-
 COMPONENTEN T.G.V. GETIJSTROMEN

schaal 1:10000

bijlage 14

