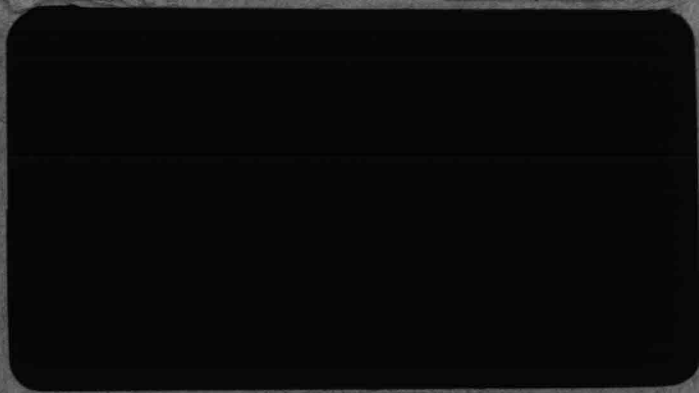
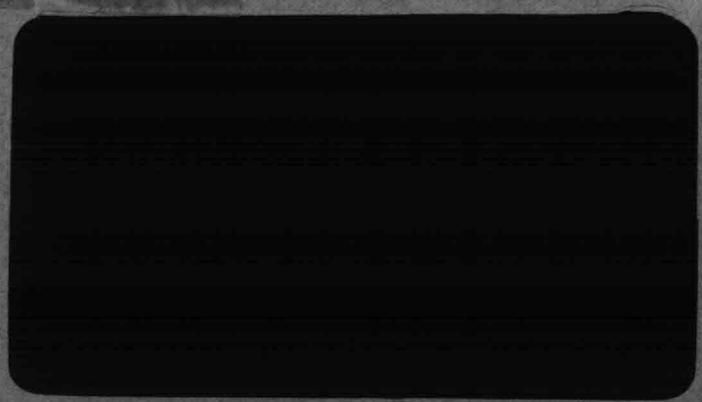


Rood 2  
rijkswaterstaat 7- v.d. graaf



directie noordzee



De vorm en vormverandering van  
een onderwater-zanddam in de  
Noordzee nabij Hoek van Holland  
loodrecht op de getijstroom.

NZ - N - 83.05

F.R. Redeker  
J. Kollen

Januari 1983

## Inhoud

1. Inleiding
2. Verantwoording
3. Samenvatting
4. Conclusies
5. Aanbevelingen
6. Fenomeen beschrijving
7. Verwerking van de gegevens van de zanddam
  - 7.1 Stortverliezen
  - 7.2 Erosie effecten
8. Theoretische beschouwing
  - 8.1 Algemeen
  - 8.2 Helling invloed
  - 8.3 Netto transport
  - 8.4 Discussie t.a.v. zandtransport formules
  - 8.5 Golfinvloed
  - 8.9 Analytische beschouwing
    - 8.9.1 Verplaatsing
    - 8.9.2 Afvlakking
    - 8.9.3 Helling evenwijdig stroom
    - 8.9.4 Uitwerking zanddam zonder golfinvloed
    - 8.9.5 Analytische berekening met golfinvloed
    - 8.9.6 Uitwerking met golfinvloed
9. Numeriek model voor het bepalen van de afvlakking van de zanddam
  - 9.1 Inleiding
  - 9.2 Samenvatting van de numerieke benadering
  - 9.3 Stroomschema van het programma
  - 9.4 De continuïteitsvergelijking
  - 9.5 Voortplantingssnelheid van de verstoring
  - 9.6 Stabiliteit en stapgrootte
  - 9.7 Resultaten van het numerieke model
  - 9.8 Conclusies uit- en evaluatie van het numerieke model
10. Literatuur lijst
11. Inhoud van de bijlagen

1. Inleiding

De zee is een steeds belangrijker gebied voor menselijke activiteiten en overheidsbemoedening en daarbij is kennis van die zee en haar bodem onontbeerlijk. Van de gedragingen van de zeebodem is echter tot nu toe weinig bekend. Om tot een beter inzicht te komen in de morfologische processen die zich op de bodem afspelen, wordt er veel onderzoek gedaan naar de natuurlijke processen, zoals het vormen en vervormen van zandbanken, zandgolven, geulen e.d., onder invloed van stroming en golven.

Er is een begin gemaakt met het vormen van kunstmatige discontinuïteiten op de bodem, zoals bijvoorbeeld onderwater zanddammen, puntstorten, proefbaggergaten en weggebaggerde zandgolven. Dit gebeurde in het kader van te verrichten baggerwerk of stortingen. Naar verwachting zullen hun vervormingen groter zijn dan natuurlijke bodemveranderingen. Door het bestuderen van die vervormingen wordt een beter inzicht verkregen in de morfologische processen en hierdoor in het gedrag van de natuurlijke bodemvormen.

Onderwater zanddammen zijn gemaakt bij Hoek van Holland en IJmuiden, waarbij die bij Hoek van Holland het meest duidelijk vorm heeft gekregen en waarop dit onderzoek zich dan ook richt.

Het is echter slechts een deel van een grootser opgezet onderzoekprogramma, dat vergroting van kennis omtrent de zeebodemgedragingen tot doel heeft. Het zand van de onderwaterzanddammen bij Hoek van Holland komt uit de geulen die naar het Rotterdamse havengebied leiden.

Om een goed functioneren van het Rotterdamse havengebied te waarborgen wordt er onderhoudsbaggerwerk en verdiepingsbaggerwerk verricht.

Hierbij komt slib en zand vrij dat veelal in zee gestort wordt. Dit gebeurt enkele kilometers ten noorden van het noorderhavenhoofd.

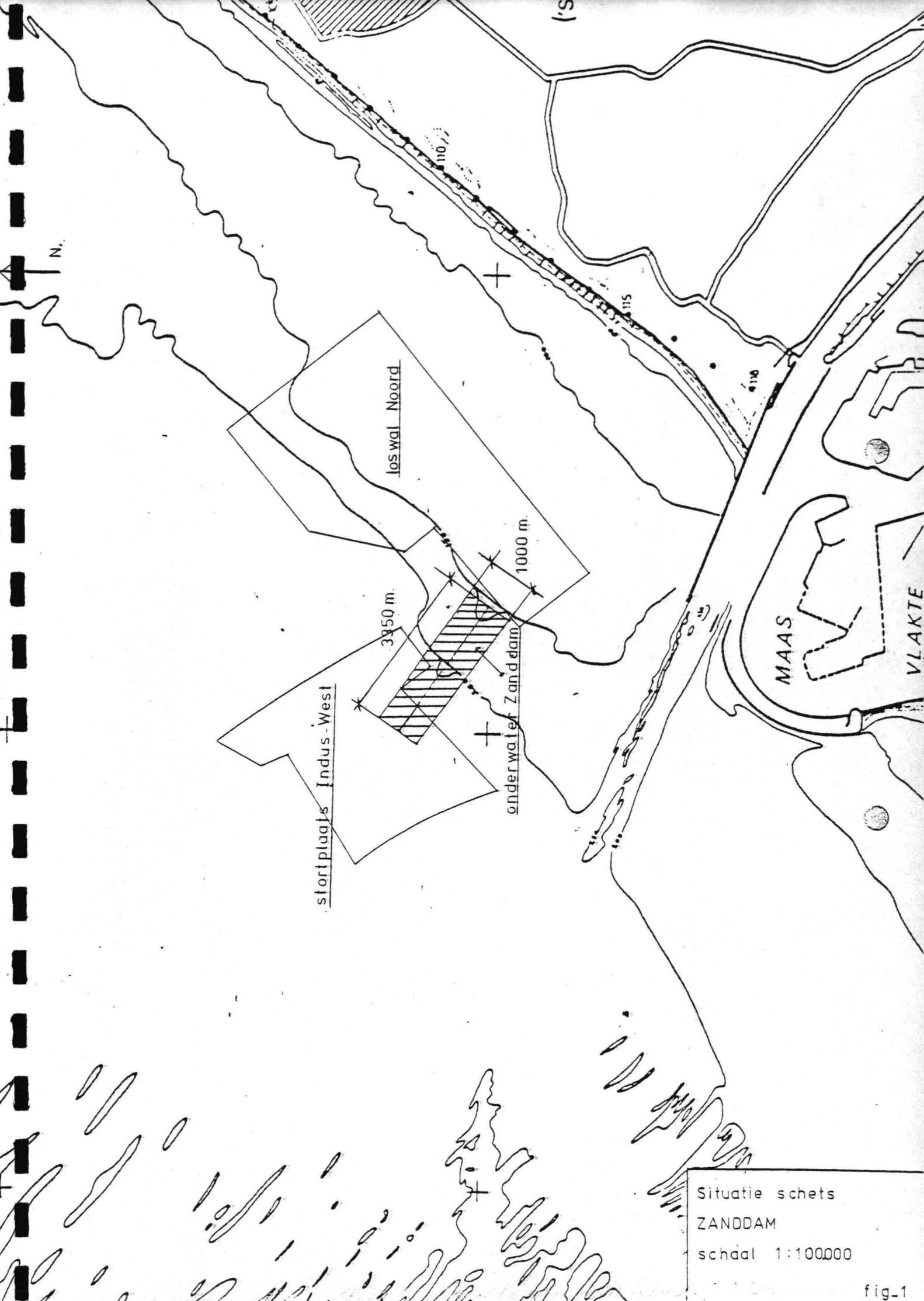
Deze stortplaats wordt geacht een soort economisch evenwicht te zijn tussen de transportkosten en de terugstroming van het slib naar de toegangsgeul.

Het stortgebied bestaat uit drie delen: Loswal Noord, waar voornamelijk slib gestort wordt, stortplaats Indus west waar zand wordt gestort en nog de onderwater zanddam (slibgeleidings dam) ten zuid-westen van Loswal Noord waar zand met zeer weinig slib wordt gestort (zie fig. 1). De zanddam is daar ongeveer loodrecht op de getijstroomrichting geplaatst om te bekijken of deze discontinuïteit invloed heeft op de terugstroming van het slib uit Loswal Noord naar de toegangsgeul. In het gebied van de zanddam zijn bodemonsters genomen om te kunnen constateren of er sprake is van slibaccumulatie .

Er wordt vanuit gegaan dat er een soort slibdeken (dichtheidsstroom) over de bodem verplaatst. Hierover is echter weinig bekend. Bovendien is het interessant om te bekijken of het mogelijk is om onderwater een bassin met "perskaden" te maken waarbinnen het slib gestort kan worden. Een zgn. halfgesloten locatie. Hierbij is de stabiliteit c.q. erosie snelheid van de "perskaden" (onderwater zanddammen) van belang.

Het onderzoek is daarom samenvattend van belang voor:

- De stabiliteit van een onderwater zandlichaam loodrecht op het getij
- de effectiviteit van onderwater zanddammen als slibgeleiding
- de mogelijkheid van het creëren van een "half-gesloten" locatie voor slibberging
- het zandtransport over de vooroever
- het morfologisch onderzoek van zandgolven.



Situatie schets  
ZANDDAM  
schaal 1:100000

fig-1

2. Verantwoording

Het doel in deze studie is geformuleerd door dr. J. Wiersma, Directie Noordzee, Rijkswaterstaat. De begeleiding van dit onderzoek geschiedde door Dr. J. Wiersma, ir. J. Bruinsma (Directie Waterhuishouding en Waterbeweging) en ir. J. van de Graaff (TH Delft).

De studie vormt tezamen met het studierapport over zandgolven het resultaat van een stageperiode en afstudeeropdracht in het kader van de studie aan de T.H. Delft. De stageperiode werd doorgebracht bij de Directie Noordzee, afdeling Beheer Water en Bodem, in de maanden oktober en november 1982.



### 3. Samenvatting

In het rapport worden enkele registraties vastgelegd van de onderwater zanddam. Dit zijn de ontwikkeling van de bodemconfiguratie in de tijd en de bodemsamenstelling in oktober '83. De ontwikkeling van de bodemconfiguratie wordt bepaald m.b.v. stortgegevens, lodingen, kuberingen en doorsneden. Daar tussen de lodingen doorgestort werd in de diverse vakken van de zanddam, was het vaak niet mogelijk om erosieverlies geheel te scheiden van opstorting. Toch konden enkele uitspraken gedaan worden over de efficiëntie van de opstorting en over de erosiesnelheid. De analyse van de bodemonsters wees nog niet op slibaccumulatie nabij de onderwater zanddam.

Verder vindt er in dit rapport een theoretische beschouwing plaats van de morfologische processen.

Deze worden met een analytische en numerieke benadering gekwantificeerd. Dit om de erosiesnelheid van de zanddam te kunnen voorspellen.

Voor het voorspellen van de erosiesnelheid is het nodig om zandtransportformules, die meestal alleen afhankelijk zijn van de stroomsnelheid, ook afhankelijk te maken van de helling van de bodem en van de golven. Dit leidt tot formules die een afvlakkend effect hebben. In dit rapport worden geen opbouwende effecten meegenomen. Zie hiervoor rapport: De vorm en vormverandering van Zandgolven en Megaribbels in proefgebied Goeree (lit. 5).

De volgende drie zandtransportformules worden vergeleken Kalinski-Frijlink (K.F.), Engelund-Hansen (E.H.) en Meyer-Peter-Müller (M.P.M.).

Daar deze absolute grootte van het zandtransport ter plaatse van de zanddam niet bekend is, kan dit niet als maat dienen voor een vergelijking van de formules. Daarom worden ze vergeleken op basis van hun aanpassingsmogelijkheid op hellinginvloed en golfinvloed.

De theoretische resultaten van de afvlakking van de zanddam worden vergeleken met enkele gemeten afvlakkingen. Dit leidt tot een aangepaste M.P.M. formule. Dit is een bodemtransportformule. De theoretische uitkomsten dienen echter met zorg geïnterpreteerd te worden. Dit komt t door:

- de onnauwkeurigheid in de randvoorwaarden vooral m.b.t. de stroomsnelheden
- de verwaarlozing van het suspensieve transport
- de onzekere invloed van de golven
- het verwaarloosde opbouwende effect (zie lit. 5).

#### 4. Conclusies

Het blijkt mogelijk om de bodemligging in de tijd van een onderwater zanddam loodrecht op de getijstroom zowel analytisch als numeriek in een model te beschrijven.

Hierbij moet aangetekend worden dat nog niet alle meespe- lende factoren konden worden meegenomen. Een algemene toet- sing aan de realiteit is dan ook nog niet mogelijk. In een vervolgstudie wordt dit verder uitgewerkt.

Voor het meenemen van hellinginvloed en golfinvloed blijkt de Meyer-Peter-Müller zandtransportformule zich te lenen. De grootte van de invloed van de golven is echter onzeker. De M.P.M. formule is een bodemtransportformule. Suspensief transport wordt dus niet meegenomen. Dit wordt minder toe- laatbaar bij relatief grote golfinvloed hetgeen suspensief transport veroorzaakt.

#### Resultaten:

- De analytische en numerieke benadering komen in de situatie van de onderwater zanddam redelijk overeen. De numerieke benadering is echter algemeen toepasbaar.
- Van de twee geregistreeerde dalingen van de top van de zanddam t.g.v. erosie komt er één goed overeen met de theoretische benadering. Deze verlaging valt in een periode met relatief weinig golfinvloed. De tweede gere- gistreeerde daling is ruim een factor twee groter dan de berekende daling. Dit kan veroorzaakt worden door de relatief grote golfinvloed in die periode.
- De snelheid van de afvlakking is sterk afhankelijk van de steilheid van de hellingen.
- De golfinvloed is bij de bodemdiepte waarop de zanddam ligt niet verwaarloosbaar.

Met gebruik van de aangepaste M.P.M. formule wordt dit aangetoond. Als men ook suspensief transport meeneemt zal de golfinvloed nog sterker doorwerken.

- De berekende verlaging van de zanddam, met damvoet op 18÷ en damtop op 16÷ is ongeveer 0,3 m in één jaartijd, berekend exclusief golfinvloed. De golfinvloed vergroot dit met 20 à 40%. Na vijf jaar zal de verlaging zonder golfinvloed ongeveer 1,1 m bedragen.
- Uit de analytische beschouwing volgt dat de hoogte van de zanddam evenredig is met  $\frac{1}{\sqrt{t}}$
- De berekende verplaatsingssnelheid van de top van de zanddam is ongeveer 4,5 m/jaar, uitgerekend zonder golfinvloed. Deze verplaatsing is Z.W. gericht, dus in tegengestelde richting van de reststroom.  
Dit komt doordat hoge snelheden sterk doorwerken op de verplaatsingssnelheid. De berekende richtingen van de snelheden zijn echter sterk afhankelijk van de nauwkeurigheid van de ingevoerde stroomsnelheden. De verplaatsingssnelheid neemt af naarmate de top meer verlaagd.
- De golfinvloed bepaalt mede de verplaatsingssnelheid van een verstoring. Mede daardoor verplaatst een ondiep gelegen verstoring zich meer dan een dieper gelegen verstoring.
- Uit de bodemonsters kan niet geconcludeerd worden dat de zanddam als slibgeleidingsdam functioneert.
- Stortverlies van de sleehopperzuigers Cornelia en Cosmos bij het storten op de zanddam is in de zomer max. 13%.

5. Aanbevelingen

- Om de theoretische benaderingen aan de realiteit te kunnen toetsen zijn er voortgaande metingen nodig. Voor het onderzoek van de golfinvloed zijn twee lodingen per jaar nodig: na de zomer en na de winter. Een grotere verlaging in de winter is een maat voor de grotere golfinvloed.
- Om de invloed van suspensief transport te onderzoeken, kan met een lagere frequentie van loden volstaan worden. De "verdwenen" gekubeerde hoeveelheid materiaal uit de zanddam en zijn directe omgeving is een maat voor het suspensieve transport. Kuberingen zijn niet erg nauwkeurig, vandaar de lagere lodingsfrequentie.
- Voor nauwkeuriger inhoudsbepalingen van de zanddam kan de breedte van het gekubeerde gebied beter gehalveerd worden.  
Zo wordt nog wel het interessante gedeelte van de zanddam gekubeerd, doch worden extra meetfouten uitgesloten.

Nader onderzoek behoeven nog de volgende punten:

- Het mechanisme van de hellingvloed is gerelateerd aan een factor ( $8,19^{-1}$ ) die in de M.P.M. formule voorkomt. Het is interessant om na te gaan in hoeverre deze factor de hellinginvloed goed beschrijft.
- De invloed van de golven op de helling. Dit m.b.t. het vergroten van het transport en de stabiliteit van de helling.
- De invloed van het suspensieve transport.
- Het numerieke-model uitbreiden tot of combineren met een bestaand tweedimensionaal model.
- Nagaan in hoeverre de gebruikte benadering ook in de brandingszone kan voldoen.
- De gebruikte benadering ook voor geulen gebruiken. Dit kan dan getoetst worden aan de realiteit.

- Het exacte stroompatroon over de dam berekenen
- De bruikbaarheid en nauwkeurigheid van zowel de analytische als de numerieke oplossing.

Het is interessant om onder gelijke omstandigheden twee zanddammen te creëren op een zodanige diepte ( 20 m), dat de golfinvloed verwaarloosbaar is. De richting van de dammen moet bij de een evenwijdig en bij de ander loodrecht op de getijdestroom staan, waarbij ze elkaar zo min mogelijk moeten beïnvloeden. Dit kan inzicht geven in het mechanisme van de hellinginvloed, ook m.b.t. het tweedimensionale aspect.

Bij planning en uitvoering van zulke experimenten moet grote zorg aan voorbereiding en nauwkeurigheid van de uitvoering en van de metingen worden besteed om de latere verwerking mogelijk en zinvol te maken.

Verder lijkt verificatie van de theorie mogelijk aan de hand van modelproeven. Een modelzanddam met steeds andere hellingen plaatsen in een stroomgoot waardoor een traag sinusvormig variërende stroming gaat.

En zal dan geen verplaatsing van de zanddam zijn, doch alleen afvlakking. Misschien is het zelfs mogelijk om op de stroming nog golven aan te brengen.

6. Fenomeen beschrijving

De onderwater zanddam is opgestort met sleephopperzuigers. Het zand is gestort over een lengte van ongeveer 3 km van oost naar west.

De verontdiepingen die zo ontstaan zijn ongeveer 4 m. De breedte van de dam is 200 m. De maximale hellingen zijn 1:15. De damvoet ligt op 15 tot 22 m diepte (zie tekening nr. 82.518 en 82.566).

De hoofdrichtingen van de getijstroming ter plaatse staan onder een hoek van  $70^\circ$  op de zanddam (zie bijlage E). Dit iets asymmetrische getij geeft een reststroom in noordelijke richting. De maximale stroomsnelheden zijn 0,85 m/sec gemiddeld over de verticaal.

Het gestorte bodemmateriaal bestaat grotendeels uit zand met een D50 van 225  $\mu\text{m}$  en een D90 van 600  $\mu\text{m}$ . Op en nabij de zanddam komen oneffenheden voor die de weerstand en dus de bodemschuifspanning beïnvloeden. De lengte van de oneffenheden is ongeveer 14 m en de hoogte is gemiddeld 0,2 m. Hieruit volgt een  $\bar{U}$ -waarde van 0,48 en een C-waarde van 63  $\text{m}^{\frac{1}{2}}/\text{sec}$ .

Het golfklimaat bij lichteiland Goeree wordt als maat genomen voor de condities ter plaatse van de zanddam. De verschillen in de waterdiepte zijn niet groot, zodat golfhoogten in beide gebieden niet veel zullen verschillen. Gedurende drie maanden per jaar is de significante golfhoogte groter dan 1,5 m (zie bijlage F).

7. Verwerking van de gegevens van de zanddam

Van de zanddam zijn de volgende gegevens beschikbaar:

- a. 5 lodingen (kaartnr. 81.585, 82.035, 82.110, 82.518)
- b. 4 kuberingen van de lodingen
- c. 10 dwarsdoorsneden over de zanddam (bijlage D1 en D2)
- d. bodemonsters op en nabij de zanddam (bijlage C)
- e. de hoeveelheid gestort materiaal (bijlage B3)
- f. getijgegevens van het horizontale getij (bijlage E)
- g. golfgegevens van lichteiland Goeree (bijlage F1 en F2)

- a. De eerste loding beschrijft de  $T_0$  situatie (bijlage B2) de volgende lodingen zijn van oktober '81, december '81, februari '82 en september '82. Tussen de lodingen werd doorgestort.

Voor de dieptenauwkeurigheid van de lodingen is  $\pm 5$  cm aangehouden. Dit lijkt gerechtvaardigd door een vergelijking van de dwarsdoorsneden over de zanddam.

- b. Van de laatste 4 lodingen is een deel van het gelode gebied gekubeerd. Dit gebied is 1000 m breed. Omdat een deel van de zanddam overloopt in het stortgebied Induswest, is het meest westelijke deel van de kuberingen niet gebruikt. De kuberingen zijn per lodingsraai loodrecht op de zanddam uitgevoerd.

De zanddam is opgedeeld in vakken. Het aantal gekubeerde raaien in een vak is gesommeerd tot een vak totaal (bijlage B 4 kaartnr. 82.566 en bijlage R).

- c. Omdat de kuberingen slechts inzicht geven in de volume veranderingen van de zanddam zijn er ook op enkele plaatsen dwarsdoorsneden gemaakt. Deze dwarsdoorsneden zijn met de computer uitgeplot. In bijlage D1 is van een dwarsraai de dwarsdoorsnede gemaakt van elke loding, zodat het verloop in de tijd gevolgd kan worden.



- d. Om de effecten van de dam op de slibgeleiding te kunnen waarnemen, zijn er een aantal bodemmonsters genomen. Dit vooral om de huidige bodemsituatie vast te leggen. De bodemmonsters zijn genomen met een bodemhapper die met een eenvoudige davit buitenboord gebracht wordt. De monsters werden in oktober '82 genomen (bijlage C).
- e. De hoeveelheid gestort materiaal is van belang om tot een vergelijking te komen met de gekubeerde hoeveelheden. Getracht is de hoeveelheid gestort materiaal per vak te bepalen. Dit was echter door de gebrekkige gegevens niet altijd mogelijk (bijlage B2).
- f. De getijgegevens komen uit nota WWKZ-82 G002 (lit. 3). Het is de getijregistratie over een springtij-doodtij-cyclus ter plaatse van meetboei Indus-west (bijlage E).
- g. Het golfklimaat is een registratie ter plaatse van licht-eiland Goeree over de jaren '50-'60. Verder zijn de golfgegevens van de periode waarin de lodingen plaats vinden gebruikt (bijlage F 1,2).

## 7.1 Stort-verliezen

De gestorte hoeveelheid in een periode is vergeleken met de gekubeerde verschillen over die periode. Door de diverse onzekerheden van de stortplaats en storttijd kunnen hier slechts enkele uitspraken gedaan worden over de stortverliezen. Doordat doorgestort werd in de diverse perioden en doordat de lodingen een fout in de diepte-metingen introduceren van gunstig genomen 5 cm, hetgeen doorwerkt in de kuberingen, konden geen uitspraken gedaan worden met betrekking tot afvlakking van de zanddam door de getijstroom.

Vergelijking van de stortingen met de kuberingen:

periode 3, vak 9 t/m 13 (bijlage B3 en B4)

max. gestorte hoeveelheid :	340.000 m <sup>3</sup>
min. gekubeerde hoeveelheid:	<u>-297.000 m<sup>3</sup></u>
verschil	43.000 m <sup>3</sup>

Dit is het maximale verlies in die periode t.g.v. stortverlies plus erosieverlies, d.i. 13%.

Periode 3, vak AB

max. gestorte hoeveelheid:	83.400 m <sup>3</sup>
min. gekubeerde hoeveelheid:	<u>-70.000 m<sup>3</sup></u>
verschil	13.400 m <sup>3</sup> d.i. 16%.

Vergelijking van de dwarsdoorsneden (alleen raai 900 is toegevoegd in bijlage D1).

Periode 1: Raai 550 en raai 900 vlakken af.

Raai 900 verlaagd in twee maanden ongeveer 0,6 m. Dit is dusdanig veel, dat het door het theoretische model niet beschreven kan worden.

Raai 550 zakt in deze periode ongeveer 0,2 m.

Het verschil is misschien te verklaren door de voorgeschiedenis van de raaien. Het zand ter plaatse van raai 900 is hoogstwaarschijnlijk later gestort. Hierdoor is het minder geconsolideerd. Daardoor zal het in periode 1 sneller af kunnen vlakken (zie hoofdstuk 9.7, doorrekenen van raai 900).

Periode 2: Bij raai 550 is geen verlaging vast te stellen. Mogelijk wel een ontstaan van "megaribbels" hetgeen in overeenstemming zou zijn met de voorgaande rustig weer periode (bijlage F2).

Deze rustig weer periode kan ook verklaren waarom de top niet duidelijk verder afvlakt.

Bij raai 1650 is de verlaging ongeveer 0,2 m.

Juist in de voorgaande periode was hier bijgestort.

In de laatste twee perioden werd over de gehele zanddam bijgestort, zodat hier geen uitspraken over het erosieverlies gedaan kunnen worden.

De doorsneden lijken in de periode direct na storten het meest af te vlakken. Ze nemen een soort "evenwichtshelling" aan. Daarna zakken ze niet veel meer.

## 8. Theoretische beschouwing

### 8.1 Algemeen

De zanddam vormt een verstoring op de oorspronkelijke zeebodem, met hellingen loodrecht op de stroomrichting.

De oorspronkelijke bodemligging wordt horizontaal en in evenwicht verondersteld; dat wil zeggen met een niet per plaats variërend zandtransport.

De zanddam zal verplaatsen en/of vervormen door zijn invloed op het zandtransport.

Dit transport bestaat uit bodem- en suspensief transport.

Het suspensieve transport is bij de zanddam verwaarloosd, immers voor het daar geldende  $V < 0,85$  m/s volgt:

$$\frac{\text{snelheid nabij bodem}}{\text{valsnelheid korrels}} = \frac{V^*}{W} = \frac{V \cdot \sqrt{q}}{C \cdot W} = \text{maximaal } 1,4$$

(Voor betekenis en waarden van de gebruikte symbolen zie A.)

Dit houdt in (LIT. 6) : overwegend bodemtransport

Bij bodemtransport geldt dat het transport gelijk is aan het transporterendvermogen  $S$ . Bodemveranderingen volgen uit veranderingen in het transport  $S$  volgens:

continuïteit:  $\frac{dS}{dx} + \frac{dZ}{dt} = 0$  (1)

De op  $S$  van invloed zijnde factoren die veranderen door de zanddam zijn: - Golfinvloed

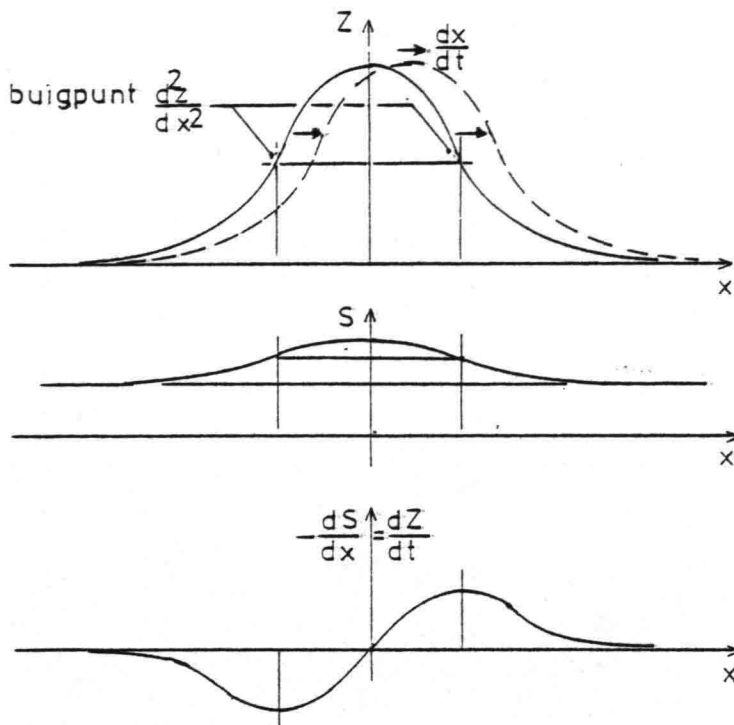
- Stroominvloed

- Hellinginvloed

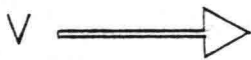
Golfinvloed: groter transport bij kleinere diepte.

In eerste instantie wordt de golfinvloed verwaarloosd i.v.m. de grote diepte. In 8.5 wordt deze factor toch zo goed mogelijk meegenomen en blijkt dan wel van enige invloed te zijn.

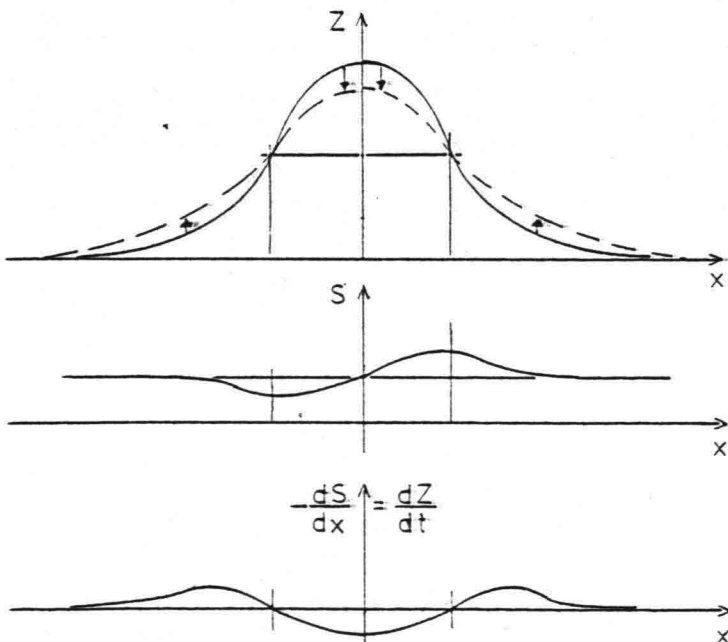
Stroominvloed: groter transport bij grotere snelheid



Uitsluitend stroominvloed:  
snelheid neemt toe naar de top.  
Dan volgt uit ① :  
HORIZONTALE VERPLAATSING  
met  $c = \frac{dx}{dt} = \frac{dS}{dZ}$ .



Hellinginvloed: Groter transport helling af bij steilere helling



Uitsluitend hellinginvloed:  
max. helling in buigpunt.  
Dan volgt uit ① :  
AFVLAKKING.

Om de verplaatsing en/of vervormingen te kunnen berekenen, zal eerst een formule gevonden moeten worden die het transport en de veranderende invloeden het best beschrijft. Daarvoor zijn de onderstaande formules, qua geschiktheid en gangbaarheid hiervoor in aanmerking komend, onderzocht en met elkaar vergeleken.

Kalinske-Frijlink volgens Bijker (K.F.): geeft bodemtransport

$$s = 50V\sqrt{g} \cdot e^{\left(-\frac{0,27\Delta D \rho g}{\mu \tau_c}\right)} \quad (2)$$

Engeland Hansen (E.H.): geeft totaal transport als

$$s = \frac{0,05 V \tau_c^2}{\rho^2 g^{2,5} \Delta^2 D} \quad (3)$$

Meyer, Peter & Muller: geeft bodemtransport als

$$s = \frac{8}{F E} \frac{1}{g \Delta \rho^{1,5}} \left( \mu \tau_c - \tau_{co} \right)^{\frac{3}{2}} \quad (4)$$

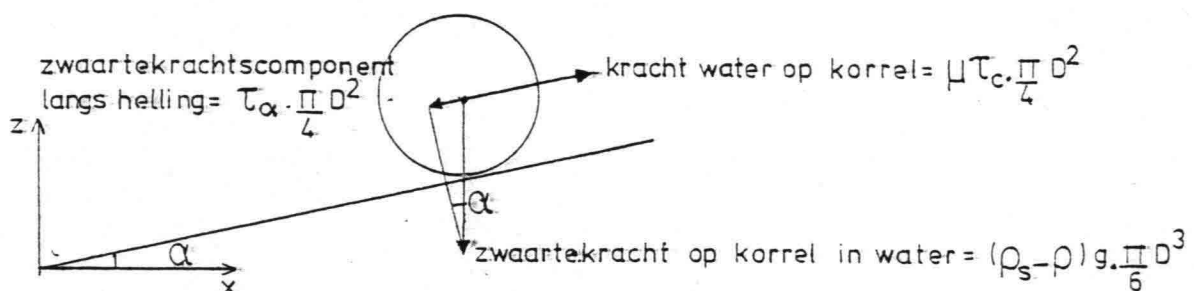
met  $\tau_c = \frac{V^2 \rho g}{C^2}$  = bodemschuifspanning t.g.v. stroom

$\mu \tau_c$  = bodemschuifspanning op zandoppervlakte

$\tau_{co} = 0,047 (\rho_s - \rho) g D = \mu \tau_{co}$  bij begin beweging.

## 8.2 Hellinginvloed

Stel: een ronde korrel beweegt over een vlakke bodem, hellingshoek  $\alpha$ . Voor kleine  $\alpha$ :  $\sin \alpha \approx \tan \alpha = \frac{dz}{dx}$ .



De hellingsinvloed kan dus geschreven worden als een  
 additionele schuifspanning :

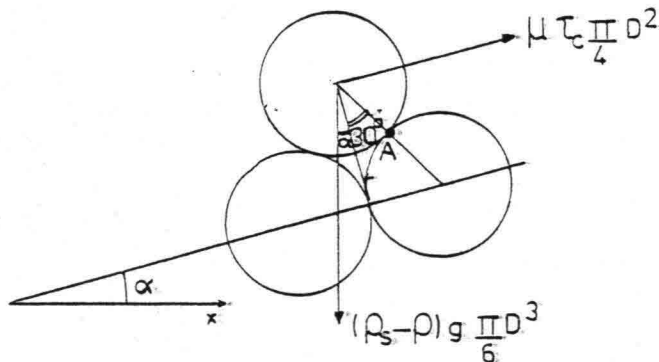
$$\tau_{\alpha} = -\frac{2}{3}(\rho_s - \rho) g D \frac{dZ}{dx} \quad (5)$$

- Echter:
1. Korrels zijn niet rond
  2. Bodem is niet vlak
  3. Korrel bewegen zich niet exact langs bodem, doch "stuiteren" er overheen (een zgn. salterend proces).  
 De helling heeft uiteraard slechts invloed bij contact met de bodem
  4. Door turbulentie plaatselijk veel grotere bodem-schuifspanningen die voor een groot deel het transport bepalen, dus een relatief kleinere hellinginvloed.

De hellinginvloed zal dus kleiner zijn.

Een maat hiervoor kan gevonden worden uit de MPM-transport-formule, en wel uit de empirisch bepaalde factor 0,047 daarin.

Immers: voor het theoretische begin van beweging geldt:



Uit momentenevenwicht om A:  $\mu \tau_c \frac{\pi D^2}{4} \cos 30^\circ = (\rho_s - \rho) g \frac{\pi D^3}{6} \sin(30^\circ + \alpha)$

Voor kleine  $\alpha$  geeft dit met:  $\sin(30^\circ + \alpha) = \sin 30^\circ \cdot \cos \alpha + \cos 30^\circ \sin \alpha \approx \frac{1}{2} + \frac{\sqrt{3}}{2} \frac{dZ}{dx}$  :

Theoretisch begin van beweging voor  $\mu \tau_c = \frac{2}{3\sqrt{3}} (\rho_s - \rho) g D (1 + \sqrt{3} \frac{dZ}{dx}) = \tau_{co, \text{theoretisch}}$ .

Uit M.P.M. blijkt ( $\frac{dz}{dx} = 0$ ) :

Empirisch begin van beweging voor  $\tau_{co} = 0,047(\rho_s - \rho)gD$ .

Hieruit volgt :  $\tau_{co} = \frac{1}{8,19} \cdot \tau_{co\text{theoretisch}}$

$$\begin{aligned} \text{Algemeen: } \mu \tau_c \text{ bij begin beweging} &= \frac{1}{8,19} \cdot \frac{2}{3\sqrt{3}} (\rho_s - \rho)gD + \frac{1}{8,19} \cdot \frac{2}{3} (\rho_s - \rho)gD \frac{dZ}{dx} \\ &= \tau_{co} - \frac{\tau_{\alpha}}{8,19} \end{aligned}$$

Hieruit blijkt de hellinginvloed als additionele schuifspanning  $\frac{\tau_{\alpha}}{8,19}$  (zie ook LIT 1.)

Voor deze waarde is het begin van beweging voor  $\tau_c = 0$  bij  $\alpha = 30^\circ$ , zoals te verwachten is.

Onderzoek naar de juiste waarde van de factor  $\frac{1}{8,19}$  vooral bij hogere stroomsnelheden, is echter zeker aanbevelenswaardig.

Ingevuld in M.P.M.:

$$\text{M.P.M.:} \quad s = \frac{1}{g\Delta\rho^{1,5}} \cdot \frac{8}{1-\epsilon} (\mu\tau_c - \tau_{co}(1 + \sqrt{3} \frac{dz}{dx}))^{\frac{3}{2}} \quad (6a)$$

$$\text{of:} \quad s = \frac{1}{g\Delta\rho^{1,5}} \cdot \frac{8}{1-\epsilon} (\mu\tau_c - \tau_{co} + \frac{\tau_{\alpha}}{8,19})^{\frac{3}{2}} \quad (6b)$$

De hellinginvloed wordt geschreven als (a) een verandering in de kritieke schuifspanning of (b) een additionele schuifspanning hetgeen in feite op hetzelfde neerkomt.

Als (b) kan hij ook in de andere transportformules ingevoerd worden.



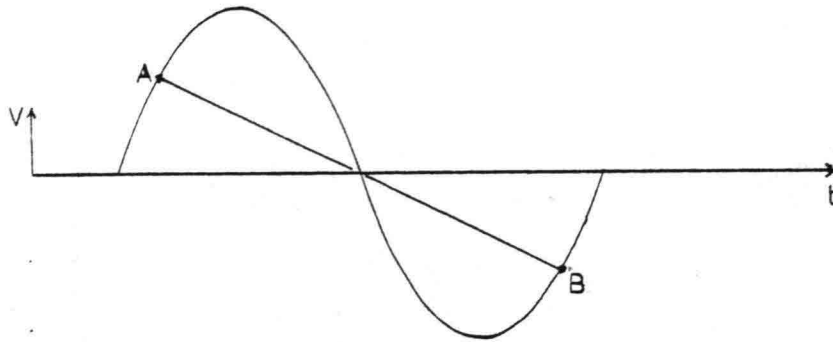
$$\text{K.F.:} \quad S = \frac{50VV\bar{g}}{C} e^{\frac{-0,27\Delta D D g}{\mu \tau_c + \frac{\tau_\alpha}{8,19}}} \quad (7)$$

$$\text{E.H.:} \quad S = \frac{005VC}{\rho^2 g^{25} \Delta^2 D} (\tau_c + \frac{\tau_\alpha}{8,19 \mu})^2 \quad (8)$$

De hieruitvolgende transporten bij de zanddam voor  $\frac{dZ}{dx}=0$  zijn uitgezet in fig. 3.

### 8.3 Netto transport

Van belang is nu het netto transport in de tijd.  
 Voor een symmetrisch getij zijn A en B complementaire punten op de getijkromme met dezelfde, doch tegengesteld gerichte watersnelheid  $V$ .



Het netto transport op een punt op de helling is dan

$$S_{\text{netto}} = \frac{S(V, \frac{dZ}{dx}) + S(-V, \frac{dZ}{dx})}{2}$$

transport is altijd in richting van snelheid  $\Rightarrow$

$$S_{\text{netto}} = \frac{S(V, \frac{dZ}{dx}) - S(V, -\frac{dZ}{dx})}{2}$$

(9)

In fig. 4 is  $S_{\text{netto}}$  uitgezet voor  $\frac{dZ}{dx} = 0.06$  tegen  $V$ .

In fig. 5 is  $S_{\text{netto}}$  volgens M.P.M. uitgezet tegen  $t$  voor een sinusvormig getij  $V = \hat{V} \sin(\omega t)$  met  $\hat{V} = 1$  m/s

Dit  $S_{\text{netto}}$  is het afvlakking veroorzakende transport.

Vorm

E.H. is een totaaltransportformule. K.F. en M.P.M. zijn bodemtransportformules.

E.H. en K.F. beschrijven het transport als functie van snelheid x concentratie (=functie van bodemschuifspanning).

M.P.M. als functie van bodemschuifspanning - kritieke schuifspanning.

Zij zijn alle slechts benaderingen van de werkelijkheid bepaald uit waarnemingen die onderling duidelijk verschillen. Het is namelijk vrijwel niet mogelijk om een exact reproduceerbaar experiment te verrichten.

Door deze variaties is het zeer moeilijk om het fysisch juiste mechanisme te achterhalen en mathematisch vast te leggen.

Door nu voor verschillende formuleringen na te gaan hoe veranderingen van helling erin doorwerken, kan over de juistheid van die formuleringen een uitspraak worden gedaan.

Absolute grootte (fig. 3)

E.H. geeft een veel groter transport dan K.F. en M.P.M.; tot 1 m/s 2 à 4 keer zo groot, daarna hogere veelvoud. De hogere veelvoud bij grotere snelheden kunnen verklaard worden uit het aandeel van het suspended-load transport bij hogere snelheden in E.H.

Verder blijkt dat tot 1m/s M.P.M. en K.F. vrijwel hetzelfde transport geven (de krommes snijden elkaar 3 keer), daarna wordt M.P.M. groter dan K.F.

Voor hogere snelheden naderen ze naar:

$$\begin{array}{lll} \text{M.P.M.} & \longrightarrow & C_1 v^3 \\ \text{E.H.} & \longrightarrow & C_2 v^5 \\ \text{K.F.} & \longrightarrow & C_3 v \end{array}$$

Voor K.F. houdt dit in: snelheid x maximale concentratie oftewel bij verdere verhoging van de snelheid blijft de concentratie constant, hetgeen niet reëel lijkt. De hogere macht in E.H. t.o.v. M.P.M. is te verklaren uit het aandeel van het suspended-load-transport.

#### Hellinginvloed (fig. 4)

E.H. geeft vooral voor  $v > 0,6$  m/s veel groter netto-transport dan K.F. en M.P.M.

De hellinginvloed is in E.H. voor het hele transport meege-rekend. Doch in suspensie verkerend materiaal zal geen invloed van de helling meer ondervinden.

Suspensieftransport zal, aangenomen dat er geen traagheid is in het uitzakken van de concentratievertikalen, geen afvlakking geven, slechts verplaatsing. Alleen dat traagheids-effect heeft een afvlakkende invloed, doch volgens een geheel ander mechanisme dan waarmee hier gerekend wordt.

E.H. geeft dus, voor bodemtransport, een te groot netto transport.

K.F. loopt tot  $v = 0,6$  m/s vrijwel gelijk met M.P.M., dan gaat hij echter dalen. Dit zou inhouden dat een grotere snelheid een kleinere afvlakking kan geven, dit lijkt niet reëel.

M.P.M., deze kromme heeft een nulpunt op  $V_0 = 0,37$  m/s

Het feit, dat helling op  $V_0 = 0,39$  m/s en helling af  $V_0 = 0,35$  m/s geeft tussen  $0,35$  en  $0,37$  m/s een kleine afwijking van die kromme; dit wordt echter verwaarloosbaar geacht.

Voor  $V = 0$  en  $\alpha > 30^\circ$  (= inwendige glijdingshoek van zand) geeft M.P.M. wel transport.

Dit is voor E.H. en K.F. niet het geval, hetgeen onjuist is.

#### Conclusie m.b.t. de toe te passen formule:

De invloed op het bodemtransport van zowel stroom als helling wordt het best weergegeven door een formule van de vorm van M.P.M.

Of M.P.M. het transport qua grootte juist weergeeft is nog de vraag, aangezien hij vooral geschikt is voor berekeningen op rivieren (rijn-delta) met grover materiaal dan op zee. De transportgrootte is echter voor de zanddam-situatie vrijwel gelijk aan K.F. volgens Bijker, die op zee het redelijkst lijkt te voldoen.

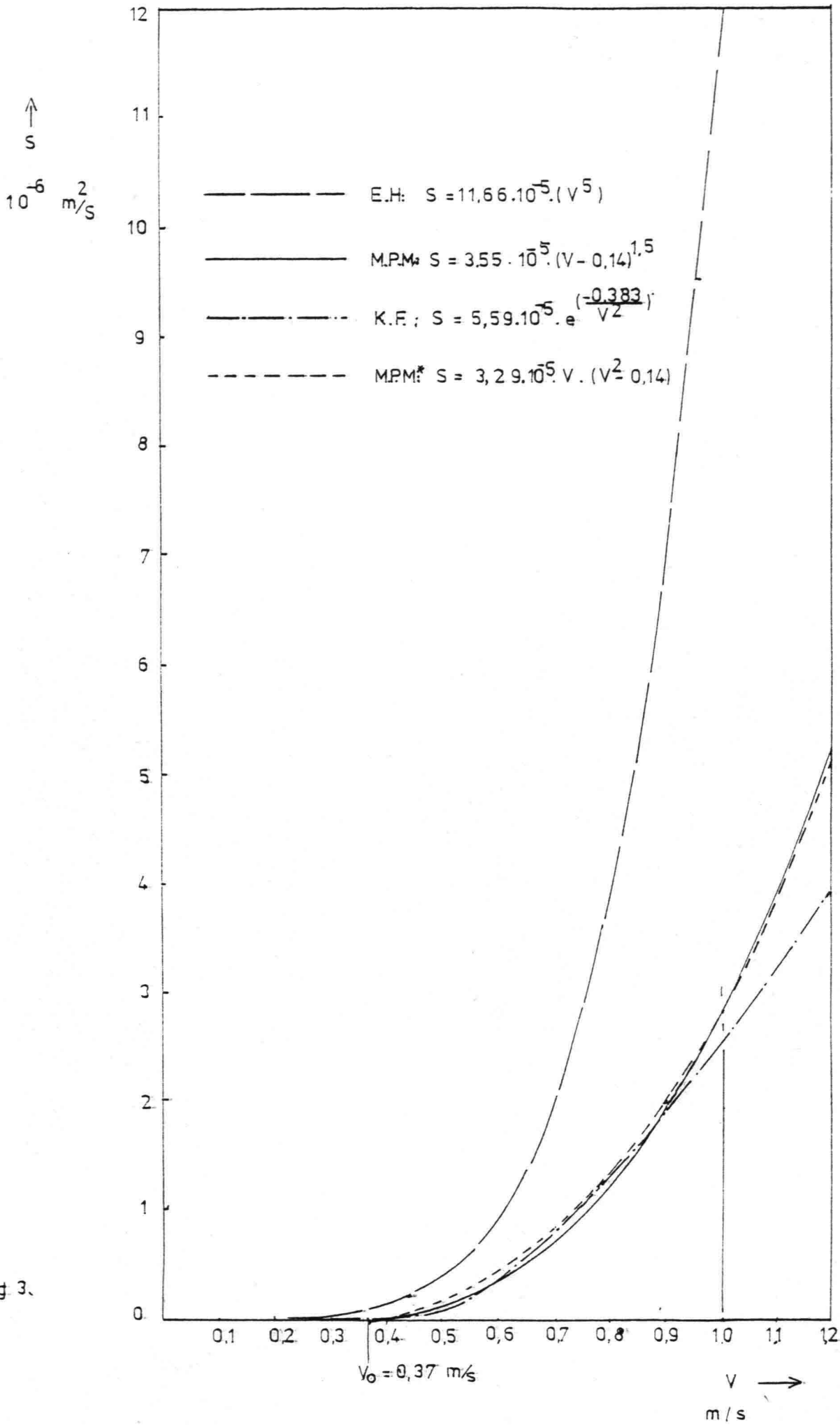


fig 3.

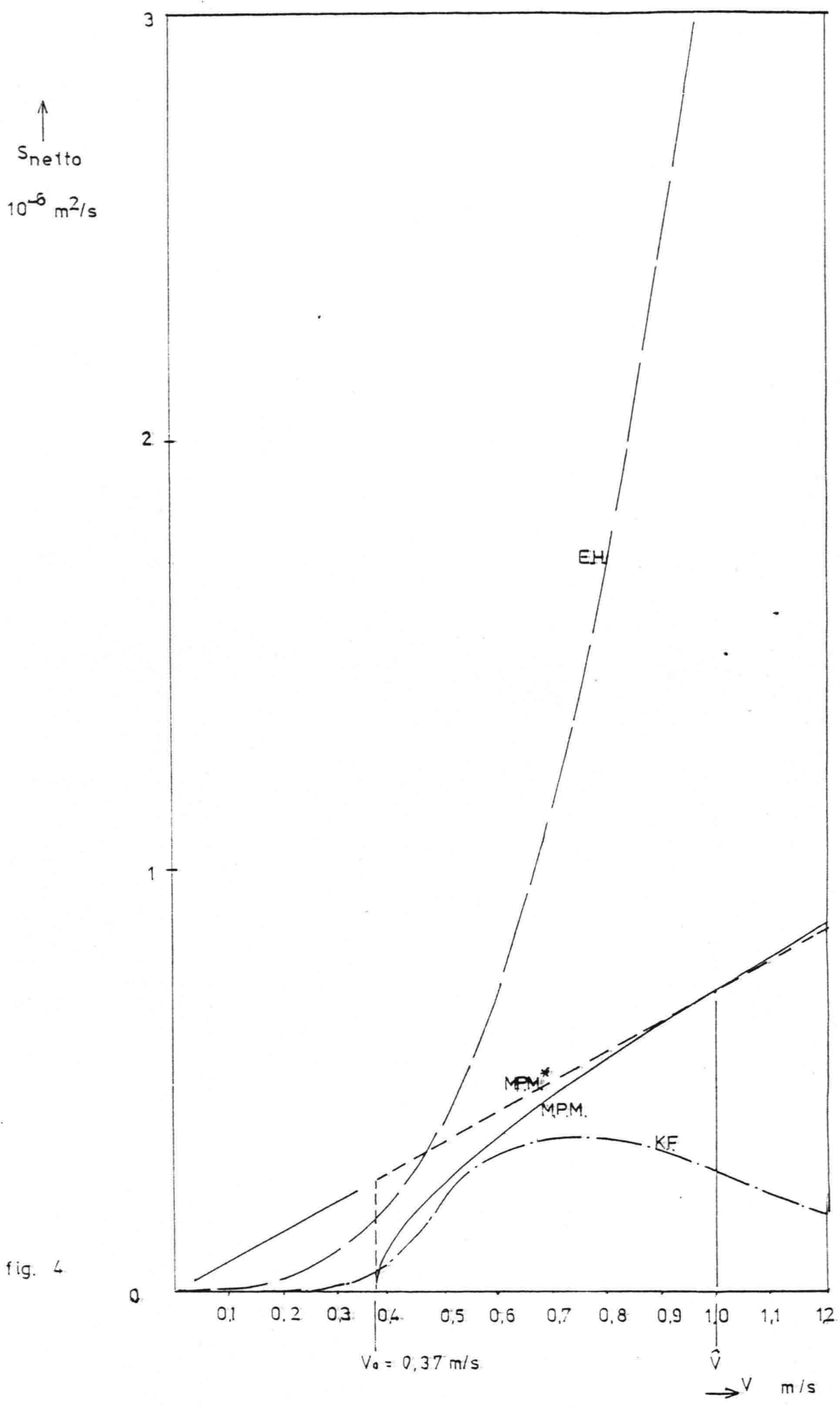


fig. 4

$\uparrow$   
 $S_{netto}$   
 $10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$

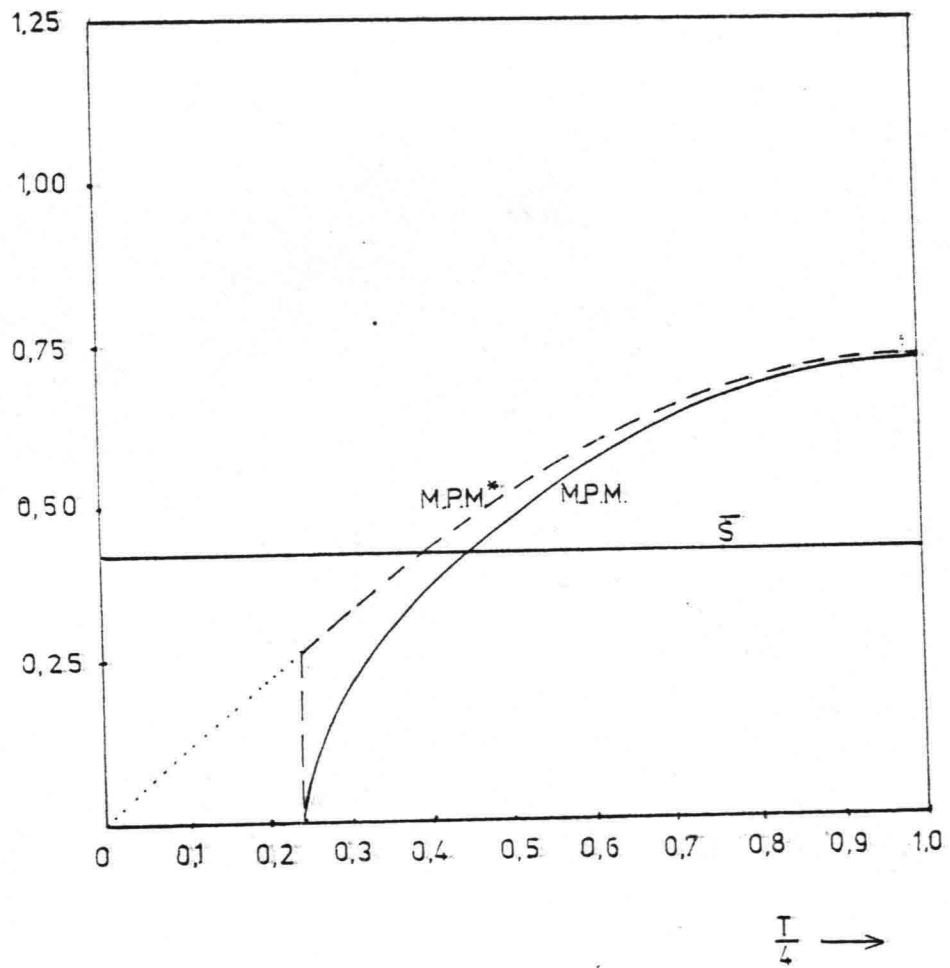


fig. 5



## 8.5 Golfinvloed

Golven veroorzaken een oscillerende waterbeweging, die afneemt met de diepte.

Als die invloed tot op de bodem doorwerkt is daar dus een oscillerende stroming, snelheid  $U_b$ . Deze stroming kan op de heersende getijstroming gesuperponeerd worden en veroorzaakt als zodanig een vergroting van de bodemschuifspanning.

Golven:  $\tau_w = \rho \kappa^2 (\rho U_b)^2$

met  $\kappa = 0,4$

$p = 0,45$

zoals aangenomen door Bijker (lit. 2). Hoewel  $p$  geen constante is, kan hij voor grote waarden van  $H$  wel zo aangenomen worden.

$$U_b = \frac{\omega H}{2} \frac{1}{\sinh(kh)} \sin \omega t$$

Golven + stroom:  $\tau_{cw}$  is dan een functie van de totaal-snelheid, in de richting van die totaal-snelheid.

met  $\gamma =$  hoek tussen  $\tau_c$  en  $\tau_w$

$\phi =$  hoek tussen  $\tau_c$  en  $\tau_{cw}$

grootte van :  $\tau_{cw} = \tau_c + \tau_w + 2\sqrt{\tau_c \tau_w} \cos \gamma$

(10)

richting :  $\tan \phi = \frac{\sqrt{\tau_w} \sin \gamma}{\sqrt{\tau_w} \cos \gamma + \sqrt{\tau_c}}$

Deze richting is alleen dan bepaald voor alle  $\tau_c$  en  $\tau_w$  als  $\gamma = 0$ , dan  $\phi = 0$ , d.w.z. golven evenwijdig aan stroom (kust). Voor berekeningen in de brandingszone lopen de golven  $\perp$  kust door refractie. Ver van de kust is de golfrichting slechts afhankelijk van de windrichting.

Transportmechanismes:

1. Normaal wordt voor golfinvloed uitgegaan van mechanisme: snelheid x concentratie.

Hierbij wordt de golfinvloed slechts concentratieverhogend gedacht, en de transportrichting altijd in de richting van de stroom.

Zo is hij ook gebruikt door Bijker, voor golven  $\perp$  kust in zijn aanpassing in de K.F. formule.

Dan wordt voor de schuifspanning gewoon  $\tau_{cw}$  ( $\gamma = 90^\circ$ ) ingevuld.

Dit kan uiteraard ook in de E.H. formule.

Om dit zelfde principe ook toe te passen op M.P.M., moet eerst M.P.M. worden aangepast aan het snelheid x concentratie mechanisme.

Dit geeft, voor een aanpassing zodanig dat voor  $\tau_w = 0$  M.P.M. volgens (6) weer ontstaat:

$$s = \frac{v \cdot D^{0,5}}{g^{0,5} \Delta^{0,5} \rho} \cdot \frac{8}{1-\epsilon} \cdot \left( \frac{\mu}{\Delta D C^2 (\rho_s - \rho) g D V^2} \right)^{\frac{1}{2}} \left( \mu \tau_{cw} - \tau_{co} + \frac{\tau_{\alpha}}{8,19} \right) \quad (11)$$

Het probleem is dat dit voor  $V$  (stroom) = 0 geen transport geeft, echter: golven over een helling geven zeker afvlakking = transport.

Dit zou ondervangen kunnen worden door voor  $V$  de snelheid van stroom + golven in te vullen, doch dan is voor  $\gamma \neq 0$  de transportrichting weer niet bepaald.

2. Wellicht is het juist om bij gebruik van M.P.M. uit te gaan van mechanisme voor transport als functie van optredende schuifspanning - kritieke schuifspanning. Dit geeft.

$$s = \frac{1}{\rho^{1,5} \Delta g} \cdot \frac{8}{1-\epsilon} \cdot \left( \mu \tau_{cw} - \tau_{co} + \frac{\tau_{\alpha}}{8,19} \right)^{\frac{3}{2}} \quad (12)$$

Dit geeft voor  $V=0$  over  $V$  helling wel transport.  
Ook hier is echter voor  $\gamma \neq 0$  de transportrichting niet bepaald.

In (11) wordt golfinvloed meegenomen als  $\tau_{cw}^1$   
in (12) wordt meegenomen als  $\tau_{cw}^{\frac{3}{2}}$

(12) zal dus grotere golfinvloeden geven dan (11)

Een ander belangrijk punt is, dat door golfinvloed = verhoging bodemsnelheid, het transport zich suspensiever zal gaan gedragen.

Daarvoor is het mechanisme snelheid x concentratie ook exact geldig.

Echter, het suspensief transport heeft geen hellinginvloed. Het vlakt wel af, maar volgens een ander mechanisme dan waarmee in dit rapport voor bodemtransport wordt gewerkt, namelijk de traagheid in het uitzakken van de concentratievertikalen.

Golfinvloed volgens (11) is numeriek uitgewerkt.

Analytisch is van (12) uitgegaan.

## 8.9 Analytische berekening

Doel hierbij is de bodemligging te bepalen als functie van de tijd, de vervorming wordt hierbij gescheiden in verplaatsing en afvlakking.

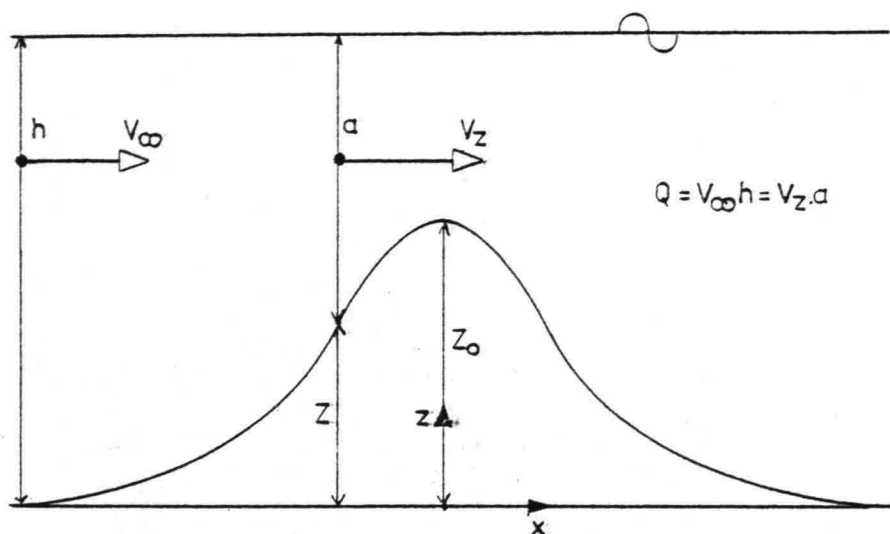


fig. 6

Er wordt uitgegaan van een constant debiet met snelheidsverdeling volgens  $V_z = V_{\infty} \frac{h}{a} = V_{\infty} \left(1 - \frac{z}{h}\right)^{-1}$

Een eventueel, "luwte effect" waardoor aan de lij-zijde een lagere bodemsnelheid is dan op dezelfde hoogte aan de loef-zijde wordt hier verwaarloosd.

Het zou een opbouwend effect hebben, dat bij zandgolven wellicht evenwicht maakt met de afvlakking.

Dit stroompatroon is echter analytisch niet quantificeerbaar. Bovendien wordt verwacht dat bij de zanddam zeker in het begin de afvlakking zal overheersen.

De gevonden waarden van de afvlakking zullen dus een maximum zijn (mits de vorige aannamen juist zijn).

Nader onderzoek naar het exacte stroompatroon is echter zeker gewenst. Voor een inleiding hierop: (zie lit. 5).

### 8.9.1 Verplaatsing

Uit (1) volgt  $\frac{dx}{dt} = \frac{dS}{dz} = \frac{V_z dS}{h dV}$

Ten aanzien van de verplaatsing wordt de hellinginvloed verwaarloosbaar geacht, daar t.p.v. de zanddam

$\mu \tau_c \approx 1,2 \text{ N/m}^2$  en  $\tau_c \text{ max.} \approx 0,02 \text{ N/m}^2$ .

dus volgt uit (6):

$$\frac{dx}{dt} = \frac{g^{0,5} \mu^{1,5} \cdot 24}{\Delta C^3 (1-\epsilon)} \cdot \frac{V_0^2}{h} \left(1 - \frac{z}{h}\right)^3 \left( \frac{2}{\omega} \left(1 - \frac{z}{h}\right)^{-2} - 0,047 \frac{\Delta D C^2}{\mu} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (\text{m/s}) \quad (12)$$

Dit geldt voor een punt op ongeacht welke verstoring op de bodem.

Voor de zanddam volgt na invulling van de getijgegevens uit bijlage E: verplaatsing top = 4,37 m/j

verplaatsing voet = 0,45 m/j in zuid westelijke richting.

Uit de tabel volgt een reststroom (N.O. = 0 - 108°, ZW = 180-288°) in N.O.-richting van ± 0,025 m/s, zoals te verwachten is.

Op het transport werkt echter  $\sim v^3$  en dit blijkt een netto component naar het Z.W. te geven.

Dit kan doordat de Z.W.-stroming meer tijd met hogere snelheden heeft, wat bij  $v^3$  sterk meetelt.

Dit netto Z.W.-transport volgt echter uit slechts 1 meting. Of het kenmerkend is voor het getij ter plaatse zal uit meer getijmetingen, en de verplaatsing van de zanddam bepaald moeten worden.

Er volgt in ieder geval dat de top sneller wil verplaatsen dan het dal, waardoor de dam zal gaan scheefstaan in de richting van de netto doorwerking op het zandtransport van het getij.

Hij zal door sterkere afvlakking van steilere hellingen een evenwicht vinden waarbij hij als geheel verplaatst met een snelheid tussen die van top en dal in.

De orde van grootte van de verplaatsingen is echter zodanig klein (zanddam is 200 m breed), dat het t.a.v. afvlakking verwaarloosd mag worden.

Het getij kan dan als symmetrisch beschouwd worden.

### 8.9.2 Afvlakking

Om vanuit het zandtransport tot een bodemligging in de tijd te komen zijn nog 2 stappen nodig:

- 1 Het zandtransport  $S$  integreren over de tijd, dit geeft het gemiddeld netto zandtransport  $\bar{S}$ .
- 2 Dat invullen in de continuïteitsvergelijking en de bodemligging  $Z = f(x,t)$  daaruit oplossen.

Dit geeft alleen een oplossing als  $\bar{S} = m \frac{dZ}{dx}$  waarin  $m$  een constante is, dan wordt het een differentiaal vergelijking volgens het diffusie-type.

- 1 In bijlage g.1.2 blijkt dat M.P.M. goed benaderbaar is met als uitkomst na integratie over het getij als  $V = \hat{V} \sin \omega t$ :

$$\bar{S} = \frac{-D}{\sqrt{\rho}} \sqrt{\mu \hat{t}_c} \left(1 - \frac{t_{co}}{\mu \hat{t}_c}\right) \frac{dZ}{dx} = -m \frac{dZ}{dx} \quad (14)$$

Dit benadert  $\bar{S}$ , zijnde het gemiddelde volgend uit de oppervlakte onder de lijn M.P.M. doordat onder de lijn M.P.M.\* fig. 5.

Deze benadering is nauwkeurig genoeg. d.w.z. binnen  $\pm 5\%$  fout, als  $\hat{V} > 2V_0$

- 2 Er volgt nu slechts een oplossing voor  $m = \text{constant}$ : d.w.z. dat  $\hat{V} = \text{constant}$  over de zanddam.

Er geldt  $\hat{V}_z = \hat{V}_0 \left(1 - \frac{z}{h}\right)^{-1}$

Dit gaat dus op mits  $\frac{z}{h}$  verwaarloosbaar, oftewel de damhoogte klein t.o.v. de waterdiepte is.

Bij de zanddam geldt  $\hat{V}_0 = 0,85 \text{ m/s}$  en  $\hat{V}_{\text{top}} = 1,09 \text{ m/s}$ .

Dit varieert weinig. T.a.v. afvlakking wordt een gemiddelde snelheidsamplitude  $\hat{V} = 1 \text{ m/s}$  gekozen.

Nu geeft (14) ingevuld in (1) :

$$-m \frac{d^2 Z}{dx^2} + \frac{dZ}{dt} = 0 \quad (15)$$

met als oplossing

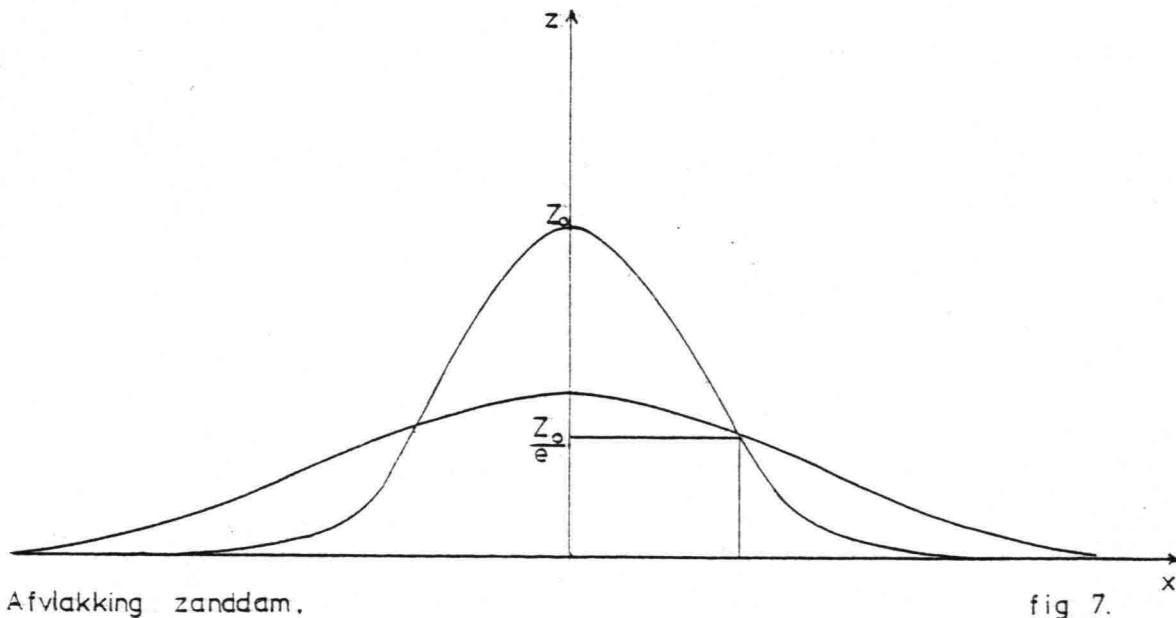
$$Z(x,t) = \frac{Z(0,1)}{\sqrt{t}} \cdot e^{-\frac{x^2}{4mt}} \quad \text{in (m,s)} \quad (16)$$

Dit geeft voor - zanddam | stroom

- hoogte klein t.o.v. waterdiepte
- zonder golfinvloed
- slechts bodemtransport
- sinusvorming getij
- transport als M.P.M., aangepast voor helling-  
invloed
- "luwte effect" verwaarloosbaar

bodemligging:

$$Z(x,t) = \frac{Z(0,1)}{\sqrt{t}} \cdot e^{-\frac{7,9 \cdot 10^{-9} \cdot x^2}{\frac{V \mu \rho^2 D \bar{V} \cdot (1 - 0,047 C^2 \Delta D)}{C} \cdot t}} \cdot \frac{1}{\mu \bar{V}^2} \quad \text{in (m,jaar)} \quad (17)$$





Z (0,1) en t worden bepaald door de vorm van de doorsnede en zijn bepalend voor de plaats op de tijdsschaal van het afvlakken (zie fig. 9 ).

De vorm van de zanddam blijkt goed met zo'n soort e-macht overeen te komen.

Benader de vorm met:

$$Z = a \cdot e^{-b \cdot x^2} \quad (18)$$

waarbij a en b volgens bestfit bepaald zijn,

a = Z(0, t<sub>nu</sub>) = tophoogte in gemeten situatie.

b =  $\frac{1}{x^2}$  voor die x waarvan Z(x, t) =  $\frac{1}{e}$  · Z(0, t).

Dan volgt:

tijd in gemeten situatie

$$t_{nu} = \frac{7,9 \cdot 10^{-9}}{b \cdot m} \quad \text{in (jaar)} \quad (19)$$

tophoogte na 1 jaar

$$Z(0,1) = a \cdot \sqrt{\frac{7,9 \cdot 10^{-9}}{b \cdot m}} = a \cdot \sqrt{t_{nu}} \quad (20)$$

De doorsnede heeft een constante oppervlakte

$$\int_{-\infty}^{\infty} e^{-x^2} dx = \frac{\sqrt{\pi}}{1} \quad \text{geeft:}$$

$$\text{OPP dsn.} = \frac{4 a}{\sqrt{\pi b}} = 2,54 \cdot 10^4 \cdot Z(0,1) \cdot \sqrt{m} \quad (21)$$

Op t = 0 is het een oneindig hoge en smalle berg met oneindig steile hellingen. Dit kan niet, immers het zand glijdt af na storten tot een relatief stabiele situatie met maximale hellingshoek  $\left| \frac{dZ}{dx} \right|_{\max}$  in buigpunt van Z = f(x,t)

In buigpunt ( $\frac{d^2Z}{dx^2} = 0$ ) op  $x = \sqrt{\frac{t}{2b}}$  geldt dat  $\left| \frac{dZ}{dx} \right| = a\sqrt{2b} \cdot e^{-\frac{1}{2}}$

invullen geeft tijd van storten:

$$t_{\text{stort}} = \frac{Z(0,1) \cdot 7,637 \cdot 10^{-5}}{\sqrt{m} \left| \frac{dZ}{dx} \right|_{\text{max}}} \quad (\text{in jaar}) \quad (22)$$

Tophoogte van de zanddam:

voor de top;  $x=0$  geldt

$$Z(0,t) = \frac{Z(0,1)}{\sqrt{t}} \quad (23)$$

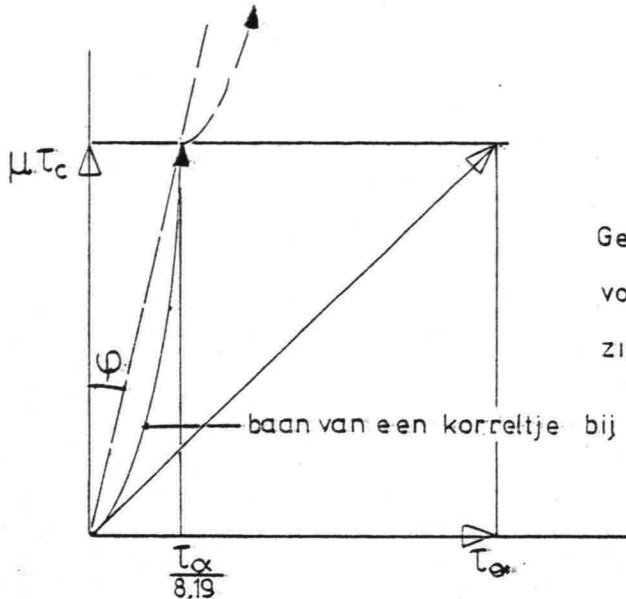
De top vlakt af evenredig met  $t^{-\frac{1}{2}}$

De snelheid van afvlakken  $= \frac{dZ}{dt}$  op situatie met zekere  $a, b$ :

$$\frac{dZ(0,t)}{dt} = \frac{a \cdot b \cdot m}{15,8 \cdot 10^{-9}} \quad (\text{in m/jaar}) \quad (24)$$

### 8.9.3 Hellingen evenwijdig aan stroom

Door het salterend mechanisme oefent ook hier de helling slechts invloed uit bij contact met de korrel.  
Aangenomen wordt dat ook hier de gemiddelde hellinginvloed is als additionele schuifspanning



Gemiddelde richting van het transport volgt uit  $\tan \varphi = \frac{\tau_{\alpha}}{8.19 \mu \tau_c}$ .  
zie ook lit.1

Voor  $\frac{\tau_{\alpha}}{8.19} \ll \mu \tau_c$  is de grootte van het transport een functie van  $\frac{\tau_{\alpha}}{\mu \tau_c}$

Dan volgt voor het netto aandeel van het transport helling af

$$S_{//netto} = S \cdot \tan \varphi = \frac{8}{1-\varepsilon} \frac{1}{g \Delta \rho^{1.5}} (\mu \tau_c - \tau_{\alpha})^{1.5} \cdot \frac{\tau_{\alpha}}{8.19 \mu \tau_c}$$

Dit geïntegreerd over een getij  $V = \hat{V} \sin \omega t$ , analoog aan de benadering in bijlage g.1.2 geeft

$$\bar{S}_{//} = -\frac{2D}{3V\rho} \sqrt{\mu \tau_c} \left(1 - \frac{\tau_{\alpha}}{\mu \tau_c}\right)^2 \frac{dZ}{dx} = \frac{2}{3} \left(1 - \frac{\tau_{\alpha}}{\mu \tau_c}\right) \bar{S}$$

Dus voor hellingen evenwijdig aan de stroom blijkt  $\bar{\xi}_{II} \approx \frac{2\bar{\xi}}{3}$   
Dit verschil is zodanig, dat een hoek tussen de zanddam  
en de stroom die weinig afwijkt van  $90^\circ$  (hier  $70^\circ$ ) als  
loodrecht in rekening gebracht mag worden.

#### 8.9.4 Uitwerking zanddam zonder golfinvloed

De doorsneden blijken goed door (18) benaderbaar

$$a = Z(0,t) = 4 \text{ m}$$

$$b = \frac{1}{752} = 1,78 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

voor dsn. 900-950 (zie bijlage D)  
voet zanddam op -18 m

Voor de zanddam wordt het getij gerekend als  $V = \hat{V} \sin \omega t$ .  
met  $\hat{V} = 1 \text{ m/s}$  over de hele zanddam.

Na invullen variabelen in (14) volgt  $m = 6,7 \cdot 10^{-6}$   
en uit (16):

$$Z(x,t) = \frac{10,3}{\sqrt{T}} \cdot e^{-1,18 \cdot 10^{-3} \cdot \frac{x^2}{t}} \quad (\text{in m.jaar})$$

Tijd 1 jaar met referentiehoogte	$t_1$	= 1 jaar	$Z(0,1) = 10,30 \text{ m}$
Opgemeten $\left  \frac{dZ}{dx} \right  = 0,06$ geeft voor	$t_{\text{stort}}$	= 5,06 „	$Z = 4,58 \text{ m}$
Tijd en hoogte in gemeten situatie	$t_{\text{nu}}$	= 6,63 „	$Z = 4,00 \text{ m}$
Tijd 1 maand na $t_{\text{nu}}$	$t$	= 6,71 „	$Z = 3,976 \text{ m}$
Tijd na 1 jaar na $t_{\text{nu}}$	$t$	= 7,63 „	$Z = 3,792 \text{ m}$
Tijd na 10 jaar na $t_{\text{nu}}$	$t$	= 16,63 „	$Z = 2,526 \text{ m}$

De verlaging na 1 maand 0,024 m  
na 1 jaar 0,271 m

Benadert men de verlaging over korte periode uit (24)

als  $\Delta Z = \frac{a b m}{15,8 \cdot 10^{-9}} \Delta t$

dan volgt voor

$$\Delta t = 1 \text{ maand} : \Delta Z = 0,024 \text{ m}$$

$$\Delta t = 1 \text{ jaar} : \Delta Z = 0,302 \text{ m}$$

Voor korte periode (< 1 jaar) is dit dus zeker toegestaan.

### 8.9.5 Analytische berekening met golfinvloed

Uitgegaan wordt van (12)

Voor grote golfinvloed is  $\tau_{c0}$  verwaarloosbaar, immers:

1  $\mu \hat{\tau}_{cw} \gg \tau_{c0}$

2 Het snelheidsnulpunt  $U_b = 0$  is een gemiddelde, door het sterk turbulente karakter zal er echter vrijwel altijd beweging zijn. Bovendien zal een deeltje in de korte tijd dat de watersnelheid echt 0 is, niet de kans krijgen zich te zetten t.g.v. een zekere traagheid.

#### Dam $\perp$ kust

Golven  $\parallel$  stroom ( $\gamma = 0$ )

$$\text{met } \frac{1}{T} \int_0^T V \tau_{cw} dt = \frac{1}{T} \int_0^T V \tau_c + V \tau_w dt = \frac{2V \tau_c}{T} + \frac{2V \tau_w}{T}$$

$$\text{volgt: } \tau_c \parallel \tau_w \quad \bar{s} = \frac{-D}{\sqrt{\rho}} (\sqrt{\mu \tau_c} + \sqrt{\mu \tau_w}) \cdot \frac{dz}{dx} \quad (26)$$

Golven  $\perp$  stroom ( $\gamma = 90^\circ$ )

golven geven nu een snelheid  $\parallel$  helling, dit vlakt minder af dan snelheid  $\perp$  helling (zie 8.9.3)

$\tau_w$  werkt hier dus minder door dan  $\tau_c$ ; stel als  $\frac{4}{9} \tau_w$  slechts dan zal

voor  $\tau_c = 0$ :  $s \parallel = \frac{2}{3} s \perp$  zijn (zie 8.9.3), dit geeft:

$$\tau_c \perp \tau_w \quad \bar{s} = \frac{-D}{\sqrt{\rho}} \sqrt{\mu \tau_c + \frac{4}{9} \mu \tau_w} \cdot \frac{dz}{dx} \quad (27)$$

Is de golfrichting onbekend, dan kan dit grofweg gemiddeld worden als:

$$\bar{s} = \frac{-D}{\sqrt{\rho}} \sqrt{\mu \tau_c + \mu \tau_w} \cdot \frac{dz}{dx} \quad (28)$$

### 8.9.6 Uitwerking met golfinvloed

Uit (24) blijkt dat de verlaging in een korte periode eenvoudig is met  $m$ .

Hieruit volgt dat als men de tijd ziet als een aantal korte periodes  $t$  met golfhoogtes verdeelt naar voorkomen volgens bijlage F, dat dan de verlaging gelijk is aan een verlaging t.o.v.  $m$  gemiddeld =  $\bar{m}$  bepaald als gemiddelde van alle bij de  $\Delta t$ 's behorende  $m$ 's.

Stel golfinvloed constant over de gehele dam zoals doorwerkend bij de top

Grotere golfhoogtes werken zwaarder door, kies  $H_s$  als gemiddelde qua doorwerken. Zie bijlage Q

$$\hat{\tau}_c = 2,56 \text{ N/m}^2 \quad \hat{\tau}_w = 33,5 \gamma H^2$$

$H_s$ (m)	$T$ (s)	$\gamma$	$\hat{\tau}_w$	$10^6 m$	gedeelte vd tijd
1,5	0	0,040	3,0	11,4	0,18
2	8	0,084	11,3	18,0	0,08
2,5	8	0,084	17,6	21,7	0,05
3	8	0,084	25,3	25,6	0,02
3,5	8	0,084	34,5	29,5	<u>0,01</u>
					+ 0,34
0	(doch met $\tau_{c0}$ me e werkend)			6,7	0,66

Hieruit volgt  $\bar{m} = 9,8 \cdot 10^6 \Rightarrow$

$t$	= 1 jaar	$Z(0,t)$	= 8,52 m
$t_{stort}$	= 3,46 ..	"	4,58 "
$t_{nu}$	= 4,53 ..	"	4,00 "
$t$	= 5,53 ..	"	3,62 "

in 1 jaar verlaging van 0,38 m.

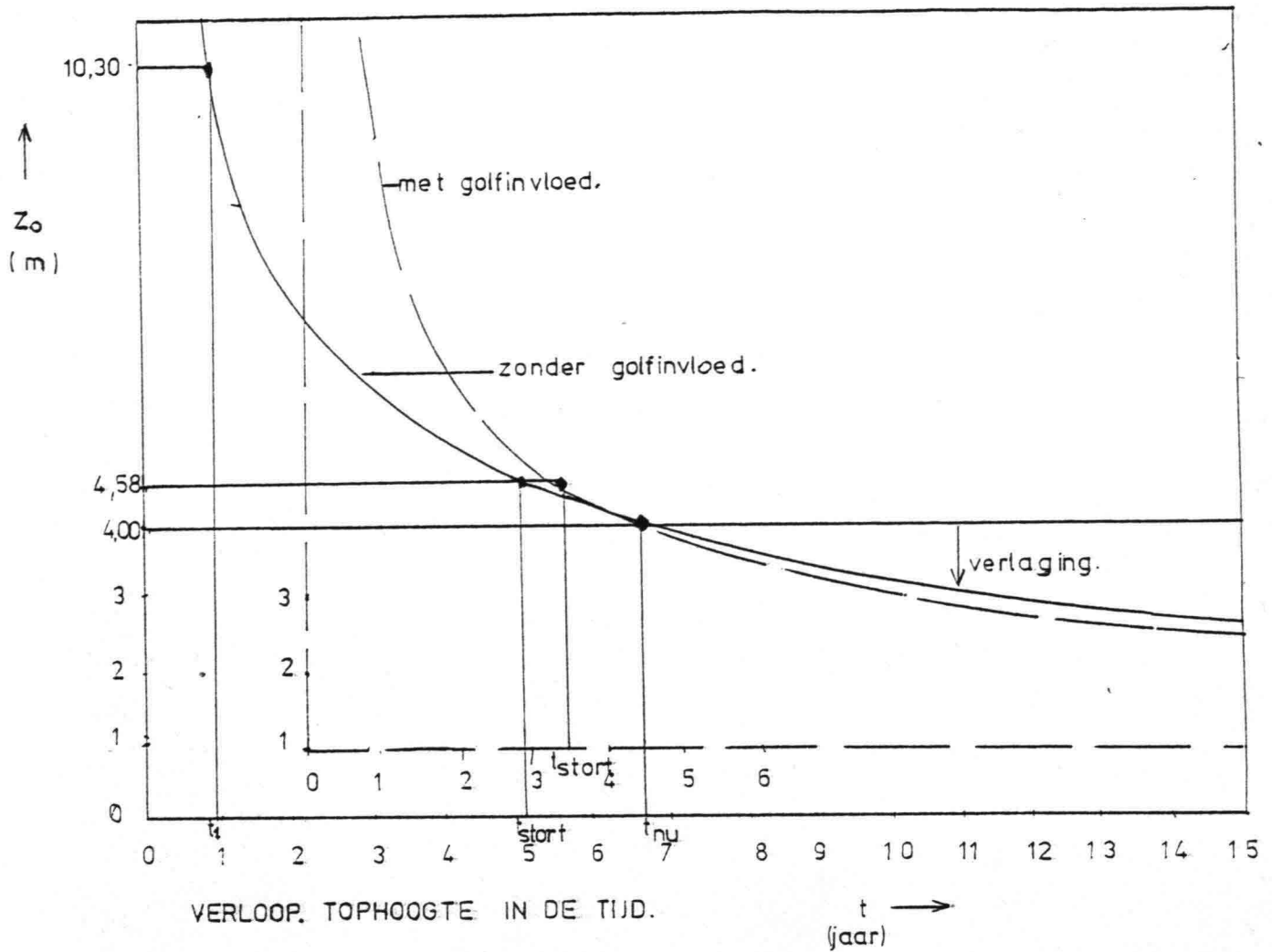


fig. 9

In deze figuur is het tophoogte-verloop met én zonder golfinvloed uitgezet.

De tijdschalen zijn relatief. De getrokken hoofdtijdschaal is voor zonder golfinvloed, de in de figuur gezette gestreepte tijdschaal voor mét golfinvloed.

Voor beiden is uiteraard  $t_{nu}$  gelijk gezet met tophoogte 4 m. Duidelijk zal ook zijn dat  $t_{stort}$  voor beide bij dezelfde tophoogte ligt; n.l. 4,58 m

Verlaging van de top kan in jaren na  $t_{nu}$  afgelezen worden.



9. Numeriek model voor het bepalen van de afvlakking van de zanddam

9.1 Inleiding

In het numerieke model zullen, evenals in het analytische model, de afvlakkende effecten van een getij-stroom loodrecht over de onderwater zanddam bekeken worden. Dit gebeurt t.a.v. de invloed van de helling van de zanddam en de golven over de zanddam op het afvlakkende transport. Opbouwende effecten, zoals die bij zandgolven aanwezig moeten zijn, worden hier nog niet meegenomen (lit. 5 ). Het voordeel van een numeriek model is dat de bodemligging exact ingevoerd kan worden. Dit kan zowel een onderwater zanddam als een onderwater geul zijn die loodrecht op de getij-stroom staat. Het getij kan in het model nauwkeurig ingevoerd worden. Dit maakt het mogelijk om elke willekeurige stroming variërend in de tijd en loodrecht op de zanddam mee te nemen.

Aan elke plaats op de dwarsdoorsnede van de zanddam wordt een helling, stroomsnelheid en golfinvloed toegekend. Deze invloeden variëren in de tijd.

Met het model zullen de aangepaste M.P.M., E.H. en K.F. sedimenttransportformules vergeleken worden. Dit op basis van hun doorwerking op de afvlakking m.b.t. de diepteligging van de zanddam en de golfinvloed. Een vergelijking met het analytische model is mogelijk door een aangepaste invoer.

Samenvatting van de numerieke benadering

Met het computerprogramma lukt het om de afvlakkende effecten van het bodemtransport te berekenen. Dit gebeurt met een aangepaste M.P.M.-formule, die van hellingen en golven afhankelijk gemaakt is (zie hoofdstuk 8.5, formule 11). Het kwantificeren van de doorwerking van de golfinvloed op het bodemtransport blijft echter lastig.

De zandtransporten in één getijcyclus zijn te klein, om een nauwkeurig en weinig rekentijd vergend computerprogramma te maken, daarom wordt het getij "uitgerekt".

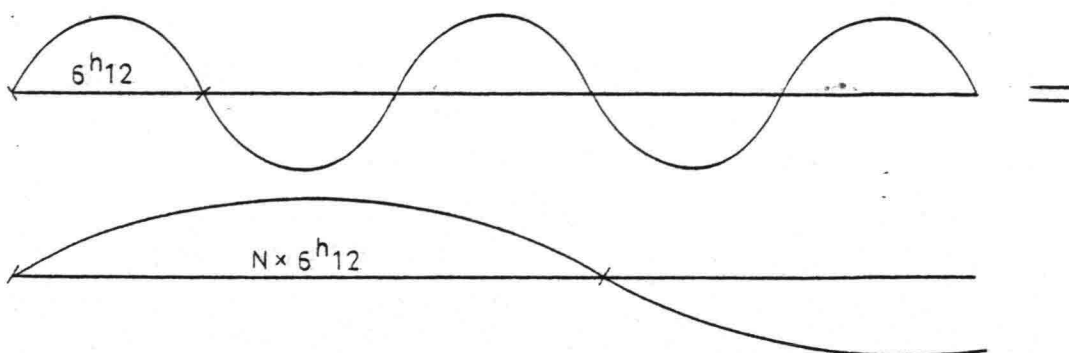
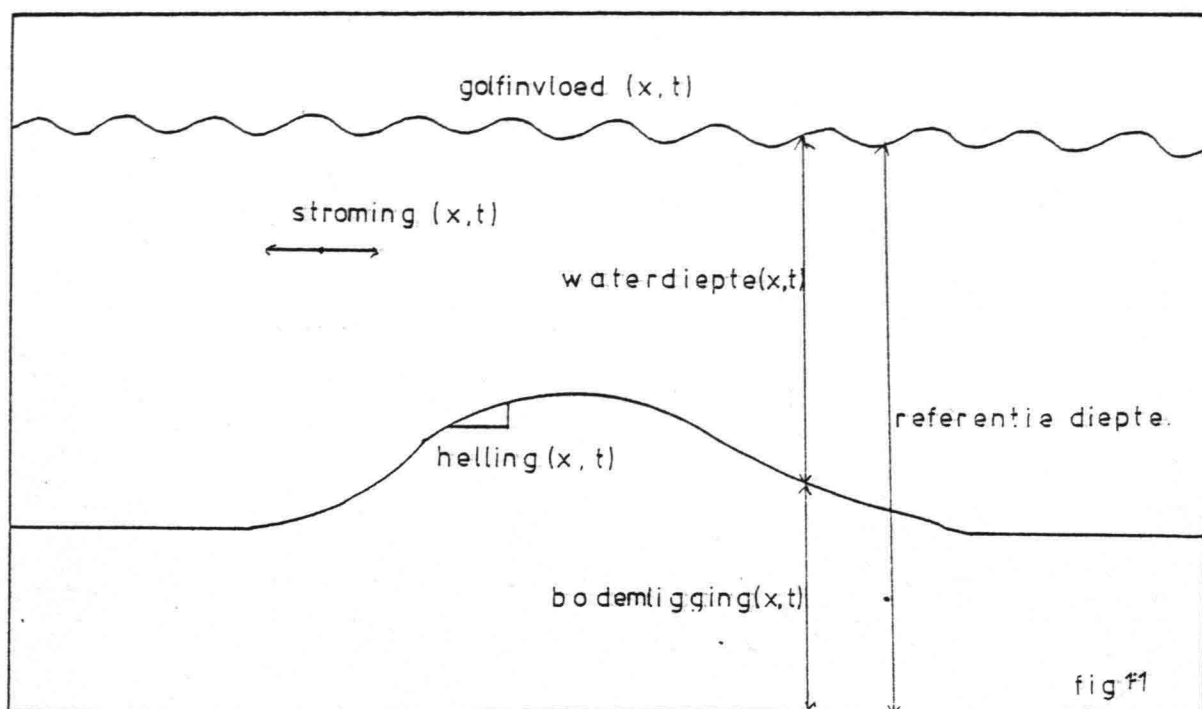


fig 10

De numerieke stabiliteit laat een "verlengde getij periode" van 3 tot 6 maanden toe, afhankelijk van de gebruikte transportformules en de golfinvloed hierop. Deze verlengde getijperiode kan na elkaar herhaalde malen doorgerekend worden.

Hierbij kan steeds een andere golfinvloed en een uit de voorgaande periode bepaalde bodemligging ingevoerd worden. De afvlakking door numerieke demping is afhankelijk van de lengte van de "verlengde getijperiode". De numerieke demping bedraagt ongeveer 5 tot 20%.



Uit de bodemligging  $t_0$  wordt voor het volgende totaal tijds-interval ( $N \times 14$ -daagsgetij) de waterdiepte, de golfinvloed en de hellinginvloed bepaald. Deze zijn dan in het gehele totaal tijds-interval gelijk. Vervolgens wordt het tijds-interval opgedeeld in sub-intervallen met verschillende stroom-snelheden. Hieruit wordt de stroomsnelheid over de zanddam bepaald. Nu is het mogelijk om het zandtransport te bepalen voor elk sub-interval, m.b.v. de gegevens uit het totaal tijds-interval. Hieruit wordt de bodemligging voor dit sub-interval bepaald.

Dit wordt bewaard voor het volgende sub-interval.

Alle sub-intervallen worden zo doorgerekend m.b.v. de gegevens uit het totale tijds-interval. Uiteindelijk wordt de resulterende bodemligging geregistreerd.

Vervolgens is het mogelijk om een nieuw totaal tijds-interval door te rekenen met de nieuwe bodemligging die resulteert in nieuwe diepten, golfinvloeden en hellingsinvloeden. Het nieuwe totaal tijds-interval kan met een andere golfhoogte doorgerekend worden.

De golfinvloed is als volgt meegenomen :

$$\tau_{cw} = \tau_c + \bar{\tau}_w$$

$$\text{met : } \bar{\tau}_w = \frac{1}{2} \rho \cdot g \cdot \xi^2 \frac{\hat{u}_b^2}{c^2}$$

$$\text{en } \xi = \frac{p_b \cdot \kappa \cdot c}{\sqrt{g}}$$

Door de variatie in de golfrichting is dit niet geheel juist, het is een benadering die een maximale invloed geeft.

9.3 Stroomschema van het programma

dimensioneren van de array's, inlezen v.d. diverse constanten

FOR J= 0 TO 60

Inlezen v.d. bodemligging uit de datagegevens in een array

FOR I= 0 TO N

Inlezen v.d. getij-stroomsnelheid en de stroomduur.

Enkele varianten uit te rekenen en extra bodemligging op J=61

FOR M= 1 TO variabele (aantal totaalijds intervallen)

Voor elke "M"looping de golfcondities toekennen

FOR J=0 TO 61

waterdiepte bepalen

schuifspanning t.g.v. golven bepalen

FOR J=0 TO 60

"schuifspanning" t.g.v. helling bepalen

"schuifspanning" toekennen aan de punten 0 en 61

FOR I= TO N (aantal sub-intervallen)

referentie-stroom bepalen uit referentie diepte

FOR J=0 TO 61

stroomsnelheid over de dam bepalen

T IF stroomsnelheid < 0 F

$\tau_{\alpha}$  wordt neg.

$\tau_c$  bepalen

$\sum \tau$  bepalen

T IF  $\sum \tau < 0$  F

transport = 0

transport berekenen

FOR J= TO 60

nieuwe bodemligging bepalen

bodemligging aan de punten Z(0) en Z(61) toekennen

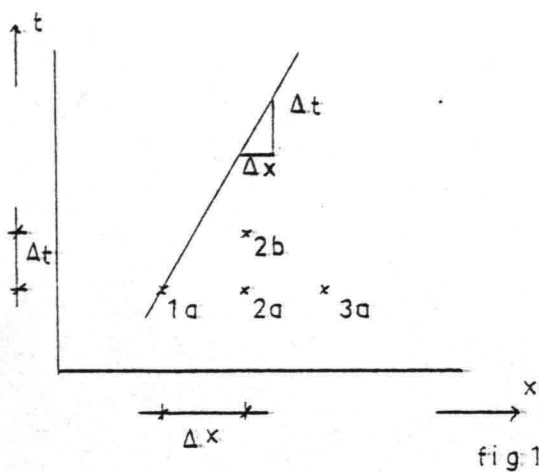
bodemligging uitvoeren

diverse datagegevens

9.2 De continuïteitvergelijking

$$\frac{dS(x,t)}{dx} + \frac{dZ(x,t)}{dt} = 0 \quad (29)$$

Dit kan in een computermodel gebruikt worden door het modified lax schema (met constante  $\alpha$ ) toe te passen (lit. 4).



$$C = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \text{voortplantingssnelheid}$$

$S$  = transport

$\Delta x$  = plaatsstap

$\Delta t$  = tijdstap

$$\frac{Z_{2b} - (1/2\alpha Z_{1a} + (1-\alpha)Z_{2a} + 1/2\alpha Z_{3a})}{\Delta t} + \frac{S_{3a} - S_{1a}}{2\Delta x} = 0 \quad (30)$$

Op deze wijze wordt de nieuwe bodemligging  $Z_{2b}$  uit drie voorgaande bodemliggingen en het transport verschil bepaald. Het bepalen van de bodemligging vanuit drie punten zorgt voor de stabiliteit van de numerieke bewerking.

Het introduceert echter enige numerieke demping (afvlakking t.g.v. een numeriek proces). Er moet voor gezorgd worden dat de numerieke demping relatief klein is, dit echter met behoud van numerieke stabiliteit en redelijke stapgrootte  $\Delta t$ .

$$c = \frac{dx}{dt} = \frac{dS(x,t)}{dZ(x,t)} = \frac{\frac{dS(x,t)}{dV(x,t)} \times V(x,t)}{a(x,t)} \quad (31)$$

$c$  = voortplantings snelheid

$S$  = sedimenttransport

$Z$  = bodemligging

$V$  = water snelheid

$a$  = waterdiepte

De numerieke stabiliteit is afhankelijk van de voortplantings-snelheid van de verstoring (zie figuur 11)..

De te berekenen bodemligging van 2b moet beneden de lijn C van de voortplantings snelheid liggen, anders zal een verstoring (= fout) in 1a, doorwerken in de bodemligging van 2b.

De variabele  $S$ ,  $v$  en  $a$  zijn alle afhankelijk van plaats en tijd. Het transport  $S$  is afhankelijk van de stroomsnelheid, de helling en de golfinvloed.

Deze beïnvloeden dus mede de voortplantings snelheid.

De uitwerking staat in bijlage P.





Vergelijking van de transportformules. (bijlage G3)

Bij de K.F.-formule blijkt dat bij een grotere golfhoogte minder afvlakking optreedt. Tevens blijkt een ondiepere bodemligging, dus grotere golfinvloed en stroomsnelheid minder afvlakking te geven. Deze resultaten zijn niet waarschijnlijk in de realiteit. De oorzaak van deze doorwerking van de golfinvloed, stroomsnelheid en hellingvloed is te vinden in hoofdstuk 8.4 (fig.4).

De aangepaste M.P.M.-formule (for. 11) reageert goed op een grotere golfhoogte en op een ondiepere bodemligging. De E.H.-formule (for. 8) geeft grotere transporten en daarom ook een grotere voortplantings snelheid. Het numerieke model wordt hierdoor al snel instabiel. De invloed van de golven op de transportgrootte is erg sterk.

Vergelijking van de aangepaste M.P.M.-formule m.b.t. diepte en golfinvloed (bijlage H).

Grotere stroomsnelheden bij de top geven een grotere afvlakking. De golfinvloed neemt bij een ondiepere bodemligging sterk toe.

Doorrekening van raai 950 over 1 jaar met de aangepaste M.P.M. formule (bijlage I).

De bodemligging wordt met tijdstappen van ongeveer 27 dagen bepaald. Het blijkt dat de afvlakking zonder golfinvloed  $\sim 0,35$  m bedraagt (inclusief numerieke demping). De berekende extra afvlakking door golven is  $0,1 - 0,2$  m (zie bijlage K voor de relatieve invloed van de golven).

De ligging van de top van de zanddam verschuift naar het ZZW, dat komt niet overeen met de richting van de reststroom (zie 8.9.1). De gemeten afvlakking is van 2-'82 tot 9-'82, dus ongeveer 6/10 jaar, ongeveer  $0,3$  m (bijlage D2). Deze waarde komt overeen met de numeriek berekende.

### Doorberekening van raai 900 over periode 1 (bijlage K)

De bodemligging is doorgerekend over een periode van 2 maanden met tijdstappen van 6 dagen inclusief een variërende golfinvloed. Aan elke tijdstap is de heersende golfinvloed toegevoegd (bijlage F2). De totale berekende daling is ongeveer 0,2 m. Dit komt niet overeen met de gemeten daling van 0,5 m (bijlage D1). Dit is misschien te verklaren door de grote golfinvloed, die ook suspensief transport veroorzaakt. Dit wordt niet mee-berekend (zie hoofdstuk 7.2 periode 1).

### Voorspelling van de bodemligging van raai 950 (bijlage L.)

De berekende afvlakking van de top met een tijdstap van 160 dagen is in 9 jaar tijd 1,1 m zonder golfinvloed. De top verplaatst in deze tijd ongeveer 40 m. Dit is berekend met de gegevens uit bijlage E. Het komt overeen met een verplaatsing van de top met 6,5 m per jaar (zie hoofdstuk 8.9.1). N.B. de verplaatsing is echter wel afhankelijk van de hoogte van de zanddam. Als de hoogte afneemt zal de verplaatsing ook afnemen.

### Doorrekening van de als een e-macht ingevoerde bodemligging (bijlage M).

Het getij is als een sinuskrumme ingevoerd. De bodemligging is met een tijdstap van 55 dagen doorgerekend tot ruim 4 jaar. De afvlakking na 4,2 jaar is 1,2 m exclusief golfinvloed.

### Invloed van de stapgrootte en de hellingsteilheid. (bijlage N).

De invloed van de plaats-stapgrootte is hier direct vergeleken. Het blijkt dat een kleinere stapgrootte, dus relatief minder numerieke demping, ook minder bodemdaling geeft. De afvlakking t.g.v. numerieke demping, is zeker niet waarloosbaar.

Met een verlengt getij van 27,5 dagen geeft het ongeveer 20% extra daling. Een steiler verloop van de e-macht geeft een duidelijk grotere afvlakking. Hieruit blijkt dat de bodemligging nauwkeurig genoeg moet worden weergegeven.

- Afvlakking van een lijnvormige verstoring loodrecht op de stroomrichting kan numeriek worden weergegeven. Alle meespelende factoren konden echter nog niet worden meegenomen (lit. 5).
- De golfinvloed op het bodemtransport kan niet worden verwaarloosd. Golfhoogten van 1,5 m en met golfgetal 0,12 geven een extra afvlakking van: damvoet op 14 m, 100%; damvoet op 18 m, 50%; damvoet op 22 m; 20%.
- De steilheid van de helling van de zanddam is sterk van invloed op de snelheid van daling van de top.
- Er zijn nog te weinig dwarsdoorsneden doorgerekend over de diverse perioden om een goede vergelijking met de realiteit te hebben.  
Wel is te verwachten dat het model 's zomers beter zal werken dan 's winters. Dit i.v.m. de verschillende golfinvloeden.
- De numerieke demping is in het gebruikte programma niet verwaarloosbaar. Het vergroot de afvlakking met ongeveer 20%. Dit is afhankelijk van de stapgrootte.
- De numerieke demping kan beperkt worden door de waarde afhankelijk te maken van de voortplantingssnelheid.
- In de programma's is voor de hoek tussen getijstroom en zanddam  $58^\circ$  gebruikt. Dit is echter  $70^\circ$ . De afvlakking is hierdoor ongeveer 10% te klein.
- De voortplantingssnelheid van de top van de zanddam met damvoetdiepte op 18 m is ongeveer  $4\frac{1}{2}$  m per jaar. Dit is echter sterk afhankelijk van het ingevoerde horizontale getij.

- De berekende afvlakking van de top van de zanddam is ongeveer 1 m in 5 jaar, met damvoetdiepte op 18 m en damtop op 14 m. De golfinvloed vergroot dit met  $\sim 20\%$ .

10. Literatuurlijst

1. F.G. Koch (1981) Sediment transport relation for two-dimensional bed level computations
2. W.W. Massie (1978) Coastal Engineering Volume II  
Harbour and Beach Problems.
3. H. Speekenbrink (1982) Nota WWKZ-82 G.002  
Toekomstig onderhoud Maas- en Eurogeul.
4. M. de Vries (1981) Morphological computations.
5. J. Kollen, F.R. Redeker (1983) Vorm en vormveranderingen van  
Zandgolven en Megaribbels in proefgebied  
Goeree.
6. A. Prins (1978) Sediment transport ; college dictaat f-10

Inhoud van de bijlagen

- A Constanten en variabelen
- B<sub>1</sub> Vak en raainummers
- B<sub>2</sub> loding en vakverdeling over de zanddam
- B<sub>3</sub> Zand en slibstortingen in de vakken
- B<sub>4</sub> Verschil van de kuberingen
- C Korreldiameterverdeling over de zanddam
- D<sub>1</sub> Doorsnede van raai 900
- D<sub>2</sub> Doorsnede van raai 950
- E<sub>1,2</sub> Getijstroom gegevens van Indus-west
- F<sub>1</sub> Golfklimaat
- F<sub>2</sub> Golfhoogten in de gelode perioden
- G<sub>1,2</sub> Benadering gemiddelde netto transport uit M.P.M.
- G<sub>3</sub> Vergelijking van de zandtransport-formules
- H Vergelijking van de aangepaste M.P.M.-formule m.b.t. golfinvloed en waterdiepte
- I Raai 950 doorgerekend met aangepaste M.P.M. over 1 jaar zonder golfinvloed
- K Raai 900 doorgerekend over 2 maanden met golfinvloed
- L<sub>1</sub> Bodemveranderingen van raai 950 over 9 jaar
- L<sub>2</sub> Doorsneden van de bodemverandering van raai 950
- M<sub>1</sub> Verloop van de afvlakking van de top in de tijd
- M<sub>2</sub> Afvlakking van de zanddam met bodemligging als e-macht en getij als een sinus-vorm
- N<sub>1,2</sub> Invloed van de stapgrootte en de steilheid
- O "Analytische" en "numerieke" zakking van de top
- P Voortplantingssnelheid van een verstoring m.b.t. numerieke stabiliteit
- Q Golfinvloed op diverse dieptes
- R Lengte doorsneden ten noorden van de zanddam



D	gemiddelde korreldiameter	225E-6	m
V	watersnelheid	max. 1	m/s
g	gravitatieversnelling	981	m/s <sup>2</sup>
$\rho$	massadichtheid water	1035	kg/m <sup>3</sup>
$\rho_s$	massadichtheid zand	2650	kg/m <sup>3</sup>
$\Delta = \frac{\rho_s - \rho}{\rho}$		1,56	
$\epsilon$	porositeit zand	0,4	
C	Chezy weerstandscoëfficiënt = $18 \text{ LOG}(12h/r)$	63	m <sup>1/2</sup> /s
h	diepte bij voet dam	18	m
r	bodem ruwheid = $25(\delta_r)^2/\lambda$	0,07	m
$\delta_r$	ribbelhoogte	0,2	m
$\lambda$	ribbellengte	14,3	m
$\mu$	ribbelfactor = $C/C'$ met $C' = 18 \text{ LOG}(12h/D_{90})$	0,48	
$D_{90}$	door 90% van de korrels onderschreden diameter	400E-6	m
$\alpha$	hellingshoek, kleine helling	max. 0,06	
$\xi$	hulp constante i.v.m. golfinvloed	3,62	
$\kappa$	van Karman constante	0,4	
$P_b$	constante die bodemsnelheid omzet tot bepaalde diepte	0,45	
S	sedimenttransport		
$V^*$	schuifspanningsnelheid = snelheid nabij bodem		
w	valsnelheid korrels		
H	golfhoogte		
a	waterdiepte		
k	golfgetal = $\frac{2\pi}{\lambda}$		
$\lambda$	golflengte		
T	golf periode		
$\xi$	constante v. Bijker = $\frac{\rho \kappa C}{\sqrt{g}} = \frac{C \sqrt{f_w}}{\sqrt{2g}}$		
$f_w$	coëfficiënt voor de bodemruwheid afh. van $a_b$ en r bepaald door Jonsson (1966)		
$\rho = \frac{1}{\kappa} \sqrt{f_w/2}$	relatie tussen $\rho$ en $f_w$		
$a_b$	verplaatsings amplitude bij de bodem t.g.v. golven		

Vak	raai:
1	550 t/m ½750
2	½750 t/m 950
3	½950 t/m 1100
4	1150 t/m 1300
5	1359 t/m 1500
6	1550 t/m 1700
7	1750 t/m 1950
8	2000 t/m 2150
9	2200 t/m 2350
10	2400 t/m ½2550
11	½2550 t/m ½2750
12	½2750 t/m ½2950
13	½2950 t/m 3150
A	350 t/m 500
B	150 t/m 300

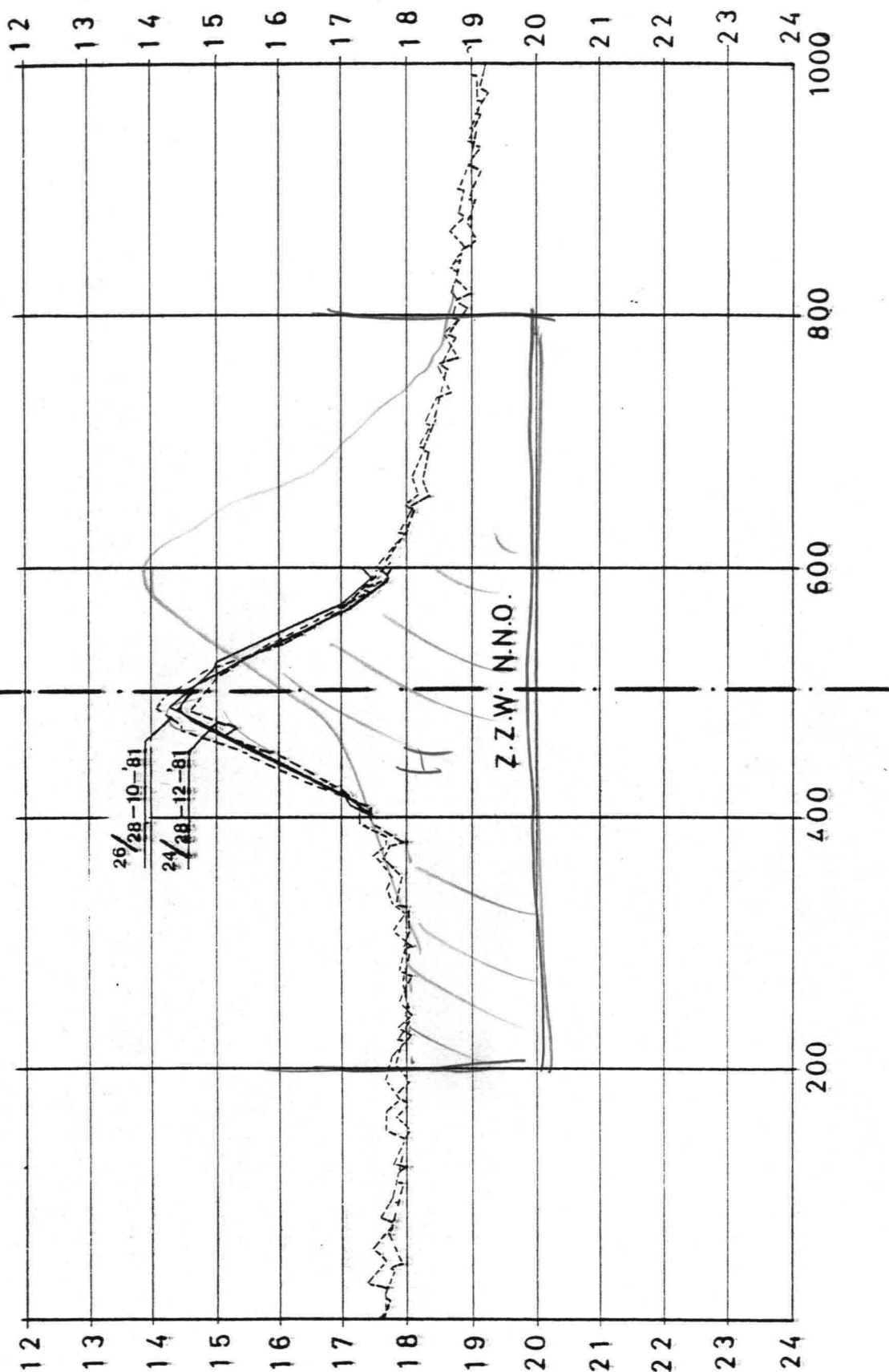
Periode:	tijdvak:
0	jan. '80 - okt. '81
1	okt. '81 - dec. '81
2	dec. '81 - febr. '82
3	febr. '82 - sept. '82



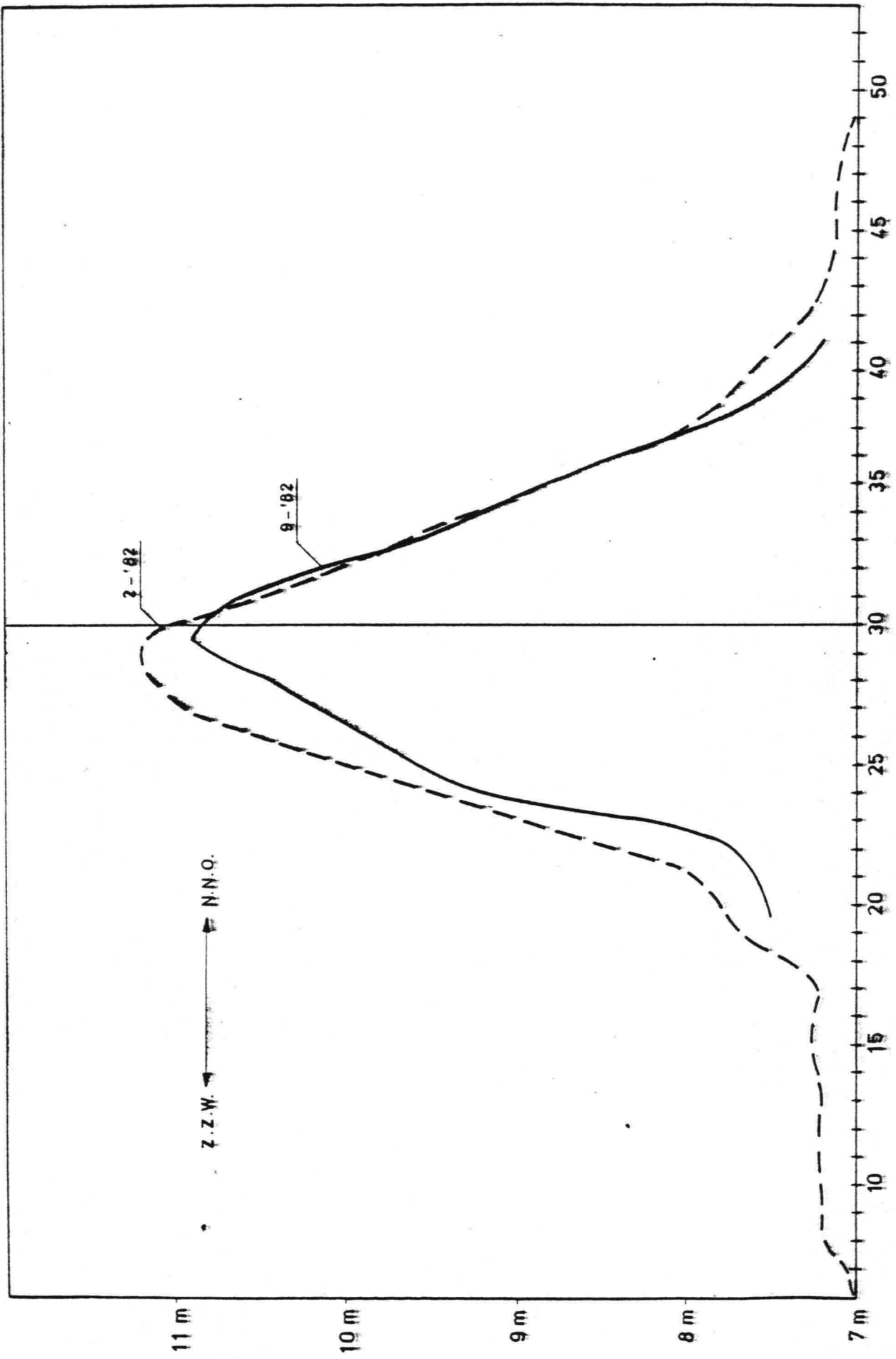
Stortingen vak periode -	RAAI	0	1	2	3
	550 / 1300	247683 + 20.000			7953 + 40.000
	1350/2150	172126 + 20.000	124263 + 40.000	waarschijn- lijk in dit vak 60.000 + 4.000	25236 + 40.000
	2200/ $\frac{1}{2}$ 2950	40475 + 15.000			302.569 + 40.000
	200/580	-			83.362 + 40.000
otaal		504.805 + 20.000	124263 + 40.000	62.492 + 40.000	493.000 + 160.000

Kuberingen per periode		0	1	2	3
1 2 3 4	raai 550 t/m 1300	248.780 ± 80.000	- 70.100 ± 80.000	53.000 ± 80.000	- 16.000 ± 80.000
5 6 7 8	1350 t/m 2150	151.588 ± 86.000	180.000 ± 86.000	30.000 ± 86.000	99.000 ± 86.000
9 10 11 12 13	2300 t/m  ½ 2950	-	- 61.000 ± 76.000	- 24526 ± 76.000	372.000 ± 76.000
A B	200 t/m 500	40.764 ± 36.000	- 27.000 ± 36.000	25.000 ± 36.000	106.000 ± 36.000
totaal		400.400 ± 160.000	21.900	83474	562.000 ± 250.000





LINE 900



Hor. 1 : 2000  
Schaal : Vert. 1 : 33.3

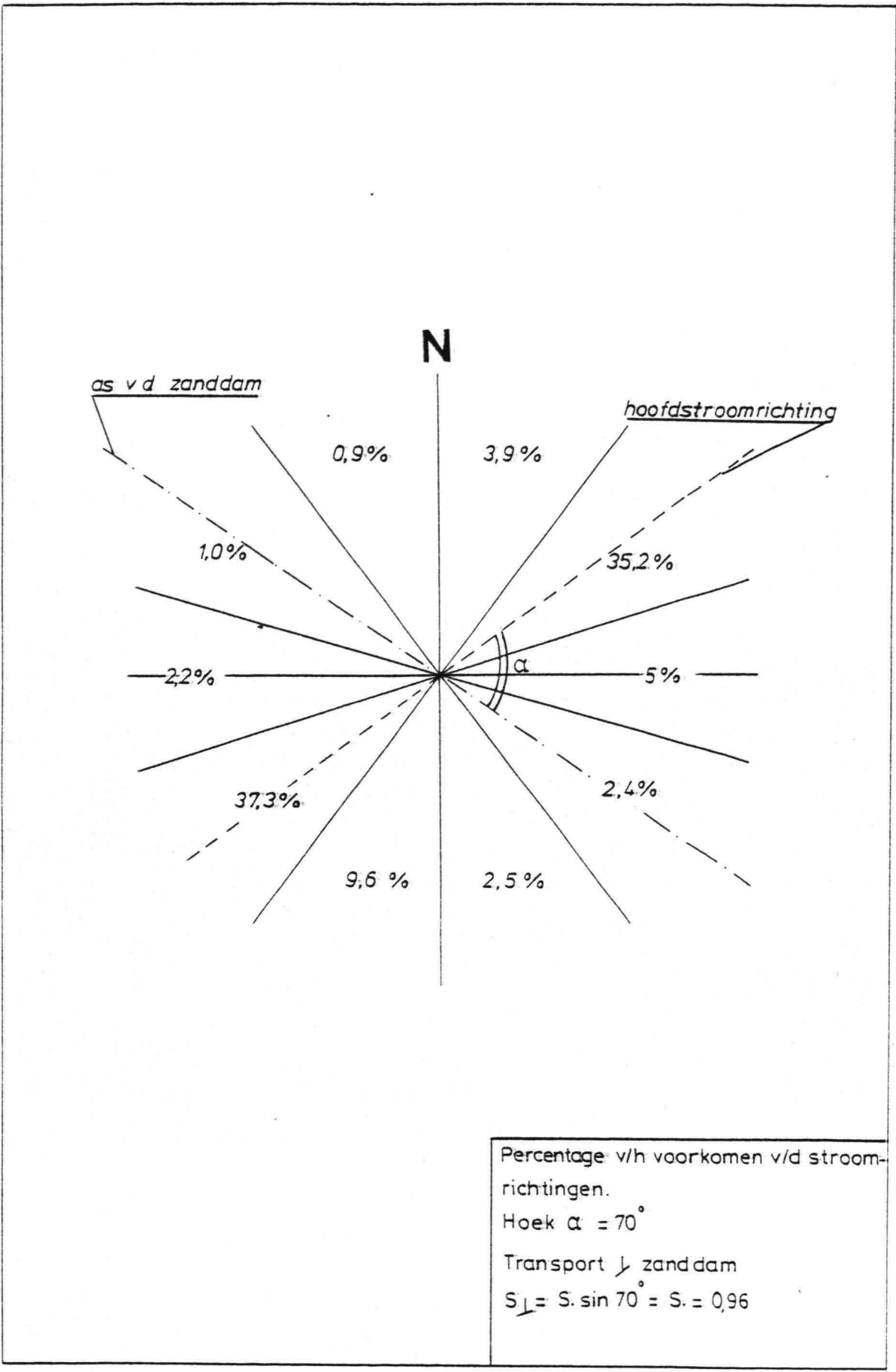


KLASSE (cm/sec) V Δa	MEETPUNT: INDUS WEST PERIODE : 9-6-1978 t/m 22-6-1978 N.Br. 51° 02' 02" O.L. 04° 02' 09" Diepte -18,00 m hoogte Flachsee 7,30 m boven bodem											
	324/ 0	0/ 36	36/ 72	72/ 108	108/ 144	144/ 180	180/ 216	216/ 252	252/ 288	288/ 324	SOM Σ	CUM Σ
140/ 130	-	-	N.O.	-	-	-	-	Z.W.	-	-	-	-
			pos.					neg.				
130/ 120	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
120/ 110	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
110/ 100	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
100/ 90	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
90/ 80	-	-	0.7	-	-	-	-	-	-	-	0.7	0.7
80/ 70	-	-	1.0	-	-	-	-	1.5	-	-	2.5	3.2
70/ 60	-	-	3.3	-	-	-	0.5	6.4	-	-	10.1	13.3
60/ 50	-	-	6.7	0.1	-	-	0.6	8.5	-	-	15.9	29.2
50/ 40	-	0.5	9.4	0.6	-	-	1.1	7.6	0.2	-	19.4	48.6
40/ 30	-	0.7	7.1	1.0	0.1	-	2.2	5.3	-	-	16.4	65.0
30/ 20	-	0.8	4.3	1.4	0.4	0.3	2.4	4.7	-	-	14.2	79.2
20/ 10	0.1	0.9	2.2	1.4	1.1	1.2	1.6	2.9	1.1	0.1	12.6	91.8
10/ 0	0.9	0.9	0.5	0.5	0.9	1.0	1.2	0.5	0.9	0.9	8.2	100.0
SOM Σ	0.9	3.9	35.2	5.0	2.4	2.5	9.6	37.3	2.2	1.0	100.0	

reststroom

reststroom

z andr.



Meetperiode '51-'60

Tijdsperioden met significante golfhoogte > 1,25 m

1 uur  $\Delta$  0,0001 in een jaar

golfhoogte	5 sec.	5-7 sec.	7-9 sec.	9-11 sec.
aantal waarn. = 29.224				
1,25 - 1,75	0,0420	0,1193	0,0290	0,000554
1,75 - 2,25	0,0056	0,0685	0,03289	0,000825
2,25 - 3,75	0,0013	0,0255	0,021597	0,000824
2,75 - 3,25	0,0002	0,0087	0,01508	0,0093
3,25 - 3,75		0,0032	0,005593	0,00093
3,75 - 4,25		0,0008	0,002333	0,00721
4,25 - 4,75		0,000098	0,000413	0,000512
4,75 - 5,25		0,000098	0,000034	0,000238
5,25 - 5,75		0,000176	0,000173	0,000307
5,75 - 6,25			0,000172	0,000137
6,25 - 6,75			0,000034	-
6,75				0,0024

	H <sub>significant</sub>	Duur	Geschatte golfgetal
periode 1	2 m	6 dagen	0.12
okt.'81-dec.'81	2.5	6½	0,12
	3.0	4	0,07
	3.5	1½	0.07
	4.0	½	0.07
periode 2	2.0 m	1 dag	0,12
dec.'81-febr.'82	2.5	1	0.12
	3.0	½	0.07
periode 3	2.0	8 dagen	0.12
febr.'82-sept.'82	2.5	4	0.12
	3.0	1	0.07
	5.0	½	0.07

$$S = D \cdot (\Delta \cdot \bar{\varepsilon})^{0.5} \frac{\delta}{1 - \varepsilon} \left( \frac{\mu \cdot V^2}{c^2 \Delta \cdot D} - 0.047 \left( 1 + \sqrt{3} \cdot \frac{dz}{dx} \right) \right)^{3/2}$$

met :  $V = \hat{V} \sin \omega t$

$$k = D \cdot (\Delta \cdot \bar{\varepsilon})^{0.5} \frac{\delta}{1 - \varepsilon} (0.047)^{3/2}$$

$$\mu \frac{\hat{\tau}_c}{\tau_{co}} = \frac{\mu \cdot V^2}{0.047 \cdot c^2 \Delta \cdot D}$$

$$S = k \left( \mu \frac{\hat{\tau}_c}{\tau_{co}} \right)^{3/2} \left( \sin^2 \omega t - \frac{\tau_{co}}{\mu \hat{\tau}_c} \left( 1 + \sqrt{3} \frac{dz}{dx} \right) \right)^{3/2}$$

Met verwaarlozing van  $(\sqrt{3} \frac{dz}{dx})^2$  en hogere machten in S-netto:

$$S = k \left( \mu \frac{\hat{\tau}_c}{\tau_{co}} \right)^{3/2} \left( \sin^2 \omega t - \frac{\tau_{co}^{0.5}}{\mu \hat{\tau}_c} \left( \sin^2 \omega t - \frac{\tau_{co}}{\mu \hat{\tau}_c} \left( 1 + \frac{3}{2} \sqrt{3} \frac{dz}{dx} \right) \right) \right)$$

Deze benadering is vrijwel exact, behalve bij begin van beweging.

FIG. 3,4. De getrokken lijn is de benadering, die echter nog niet integreerbaar is. Dit kan wel voor :

$$S^* = k \left( \mu \frac{\hat{\tau}_c}{\tau_{co}} \right)^{3/2} \sin \omega t \left( 1 - \frac{\tau_{co}^{0.5}}{\mu \hat{\tau}_c} \left( \sin^2 \omega t - \frac{\tau_{co}}{\mu \hat{\tau}_c} \left( 1 + \frac{3}{2} \sqrt{3} \frac{dz}{dx} \right) \right) \right)$$

Deze benadering (de rechte lijn in fig 5) is exact voor  $V=V$  en begint bij het naderen van  $V_0$  af te wijken.

Voor  $\frac{dz}{dx} = 0$  geldt :  $S \sim S^*$  = benadering, (zie fig 3)

dan  $S^* = 3.29 \cdot 10^{-5} V (V^2 - 0.14)$  voor  $V > 0.37 \frac{m}{sec}$  bij de zanddam.

Netto transport :

$$S_{netto}^* = k \left( \mu \frac{\hat{\tau}_c}{\tau_{co}} \right)^{3/2} \sin \omega t \left( 1 - \frac{\tau_{co}^{0.5}}{\mu \hat{\tau}_c} \left( -\frac{\tau_{co}}{\mu \hat{\tau}_c} \frac{3\sqrt{3}}{2} \frac{dz}{dx} \right) \right)$$

immers :  $(\sin^2 \omega t - \frac{\tau_{co}}{\mu \hat{\tau}_c})$  valt over twee complementaire punten van de getijkromme weg.

z.o.z.

Voor gemiddeld netto transport met  $t_0 =$  tijd van begin van beweging ( $\omega t_0 = \arcsin \sqrt{\frac{\tau_{co}}{\mu \hat{\tau}_c}}$ ) geldt :

$$\bar{S}^* = \frac{4}{T} \int_{t_0}^{\frac{1}{4}T} S^* dt = \frac{4}{T} \int_{t_0}^{\frac{1}{4}T} S_{\text{netto}}^* dt \quad \text{met;}$$

$$\int_{\arcsin \sqrt{\frac{\tau_{co}}{\mu \hat{\tau}_c}}}^{\pi/2} \sin t dt = \left(1 - \frac{\tau_{co}}{\mu \hat{\tau}_c}\right)^{0.5} \quad \text{volgt:}$$

$$\bar{S}^* = -k \frac{3\sqrt{3}}{2} \frac{2}{\pi} \left(\frac{\mu \hat{\tau}_c}{\tau_{co}}\right)^{0.5} \left(1 - \frac{\tau_{co}}{\mu \hat{\tau}_c}\right) \frac{dz}{dx}$$

hetgeen de oppervlakte onder M.P.M. in fig 5 benaderd door de oppervlakte onder M.P.M.\*; hetgeen een zeer kleine vergroting geeft van  $\bar{S}$ . Met invullen van k en een kleine afronding geeft dit :

$$\bar{S} = \frac{D}{\sqrt{\rho}} \sqrt{\mu \hat{\tau}_c} \left(1 - \frac{\tau_{co}}{\mu \hat{\tau}_c}\right) \frac{dz}{dx}$$







Aangepaste M.P.M. , zonder golf invloed, 14 x T doorgekeerd voor 2001 950

T = 2360440 sec.  $\Delta$  2 x doodtij - springtij cyclus.

Beob. oppg.	907/1001	922	937	952	967	982	997	105/1001	Beob. oppg.	907-105/1001	Constanten
7.100	.001	.0012	.003	.004	.004	.004	.004	.004	7.104		
7.100	.004	.006	.007	.007	.006	.004	.003	.002	7.102		
7.150	-.007	-.011P	-.030	-.033	-.045	-.051	-.056	-.053	7.092		
7.100	-.007	-.019	-.027	-.032	-.036	-.039	-.040	-.040	7.060		
6.950	.005P	.024	.037	.043	.057	.066	.073	.076	7.026		
6.950	.010	.027	.042	.055	.066	.076	.084	.088	7.038		
7.050	.004	.0122	.019	.024	.028	.032	.036	.037	7.087		
7.200	-.008	-.021	-.031	-.039	-.044	-.049	-.052	-.054	7.146		
7.200	-.002	-.0016	-.010	-.013	-.016	-.019	-.022	-.023	7.177		
7.200	-.009	-.001	-.002	-.003	-.004	-.006	-.007	-.008	7.192		
7.200	-.003	-.000	-.001	-.001	-.002	-.002	-.003	-.003	7.197		
7.200	-.001	-.002	-.002	-.002	-.002	-.002	-.001	-.001	7.199		
7.200	-.002	-.003	-.003	-.002	-.001	.001	.004	.005	7.205		
7.150	.009	.025	.037	.047	.056	.063	.069	.072	7.222		
7.250	.000	.002	.004	.007	.010	.014	.019	.021	7.271		
7.350	-.010	-.022	-.027	-.028	-.026	-.022	-.016	-.013	7.337		
7.200	.031	.081	.11P	.149	.173	.193	.210	.217	7.417		
7.500	-.009	-.023	-.031	-.035	-.035	-.032	-.027	-.023	7.577		
7.700	-.006	-.013	-.014	-.009	-.001	.010	.023	.031	7.731		
7.700	.020	.059	.093	.126	.157	.187	.216	.231	7.931		
7.950	.025	.072	.116	.157	.196	.234	.270	.283	8.238		
8.400	.019	.053	.089	.125	.161	.196	.231	.248	8.648		
8.900	.015	.047	.079	.111	.142	.173	.203	.213	9.119		
9.400	.020	.056	.089	.118	.145	.169	.192	.203	9.603		
10.000	.003	.011	.019	.02P	.038	.047	.055	.05P	10.059		
10.400	.007	.017	.024	.027	.028	.026	.022	.019	10.419		
10.800	-.007	-.021	-.032	-.051	-.078	-.101	-.122	-.133	10.667		
11.000	-.014	-.046	-.081	-.117	-.153	-.189	-.225	-.243	10.757		
11.100	-.039	-.112	-.176	-.234	-.287	-.336	-.381	-.403	10.697		
10.500	-.028	-.080	-.129	-.174	-.216	-.256	-.295	-.314	10.486		
10.400	-.016	-.043	-.073	-.103	-.133	-.163	-.193	-.203	10.192		
10.000	-.010	-.030	-.051	-.072	-.095	-.117	-.139	-.151	9.949		
9.500	-.007	-.021	-.037	-.053	-.070	-.087	-.104	-.116	9.487		
9.250	-.013	-.036	-.056	-.074	-.090	-.105	-.120	-.127	9.123		
8.800	-.004	-.005	-.010	-.016	-.023	-.031	-.038	-.042	8.759		
8.450	-.001	-.004	-.008	-.012	-.017	-.021	-.026	-.029	8.421		
8.150	-.005	-.016	-.026	-.036	-.043	-.053	-.063	-.067	8.113		
7.800	.005	.014	.020	.025	.028	.031	.033	.034	7.834		
7.600	-.001	.000	.001	.002	.004	.005	.007	.008	7.609		
7.400	.001	.004	.007	.011	.016	.017	.021	.022	7.422		
7.250	.002	.007	.011	.015	.020	.024	.028	.031	7.281		
7.150	.001	.005	.009	.014	.019	.024	.028	.032	7.182		
7.050	.001P	.024	.036	.046	.055	.062	.069	.071	7.121		
7.100	-.001	-.002	-.002	-.001	-.000	.001	.002	.003	7.103		
7.100	-.001	-.002	-.003	-.005	-.006	-.008	-.009	-.010	7.090		
7.100	-.001	-.005	-.009	-.013	-.017	-.022	-.026	-.028	7.072		
7.100	-.007	-.020	-.031	-.040	-.049	-.056	-.063	-.066	7.034		
7.000	-.003	-.008	-.013	-.018	-.023	-.027	-.031	-.033	6.967		
6.900	-.001	-.002	-.004	-.005	-.007	-.009	-.011	-.012	6.898		
6.800	.002	.006	.008	.009	.011	.011	.010	.010	6.810		
6.750	-.001	-.002	-.003	-.004	-.005	-.006	-.007	-.007	6.743		
6.700	-.003	-.009	-.013	-.016	-.017	-.019	-.019	-.019	6.681		
6.600	.002	.006	.010	.013	.016	.019	.022	.023	6.623		
6.550	.004	.011	.018	.023	.028	.032	.035	.037	6.587		
6.550	.003	.009	.013	.017	.019	.021	.022	.022	6.572		

G1 = 9.81  
 H1 = 25  
 C1 = 63  
 S2 = 2650  
 A1 = 18  
 U1 = .48  
 F = 58  
 M1 = 7.00  
 D2 = 1.560  
 K1 = .4  
 D1 = .000225  
 T1 = 2360448  
 H2 = 0  
 M = 17  
 P1 = .45  
 S1 = 1035  
 X1 = 10  
 K2 = 0  
 B = 5

Doorsnede verandering van zand 900  
in de periode okt '01 → dec '01 met golf invloed.

Berekening met aangepaste M.P.M. formule  
Tijdstappen per 6 dagen.

Waterstand in okt '01	$H_2 = 2 \text{ m}$ $k = 0.12 \text{ m}^{-1}$	$H_2 = 1.5 \text{ m}$ $k = 0.12 \text{ m}^{-1}$	$H_2 = 1.5 \text{ m}$ $k = 0.12 \text{ m}^{-1}$	$H_2 = 1.5 \text{ m}$ $k = 0.12 \text{ m}^{-1}$	$H_2 = 1.5 \text{ m}$ $k = 0.12 \text{ m}^{-1}$	$H = 3.5 \text{ m}$ $k = 0.07 \text{ m}^{-1}$	$H = 0 \text{ m}$	$H = 0 \text{ m}$	$H = 2.5 \text{ m}$ $k = 0.09 \text{ m}^{-1}$	Verwachte bodemligging in dec '01
7.250	-.007	-.014	-.020	-.026	P1= .45	K1= .4	C1= 63	G1= 9.81		
7.100	.001	.003	.004	.005	S1= 1035	D1= .000225	S2= 2650	Y1= 3.621		
7.000	.005	.010	.015	.019	X1= 10	T1= 524544	A1= 18	H1= 25		
7.060	.005	.009	.013	.016	K2= 0	H2= 0	U1= .48	D2= 1.560		
7.100	-.009	-.011	-.025	-.031	B= 5	N= 17	F= 58			
7.000	-.000	-.000	-.000	.000	.001	.001	.002	.003	.004	7.004
6.900	.014	.021	.037	.046	.054	.061	.072	.077	.085	6.983
7.100	-.018	-.019	-.027	-.033	-.039	-.043	-.047	-.050	-.053	7.047
7.050	-.001	-.001	-.001	-.001	-.001	-.001	-.000	.000	.001	7.051
7.000	.012	.021	.030	.037	.043	.053	.057	.061	.065	7.065
7.200	-.012	-.022	-.031	-.039	-.045	-.050	-.054	-.058	-.064	7.140
7.100	.008	.016	.022	.027	.032	.038	.042	.045	.048	7.148
7.200	.001	.002	.003	.004	.004	.003	.002	-.009	-.010	7.210
7.300	-.006	-.011	-.016	-.019	-.022	-.024	-.026	-.028	-.029	7.272
7.250	.009	.017	.026	.030	.036	.044	.048	.051	.055	7.305
7.400	-.002	-.003	-.005	-.007	-.008	-.008	-.010	-.011	-.012	7.388
7.500	-.012	-.021	-.029	-.036	-.042	-.049	-.052	-.055	-.057	7.443
7.350	.014	.027	.038	.049	.058	.075	.083	.090	.100	7.450
7.500	.008	.015	.022	.028	.035	.041	.046	.051	.054	7.584
7.750	-.004	-.007	-.009	-.009	-.008	.023	.024	.026	.040	7.790
7.800	.027	.050	.070	.089	.106	.166	.177	.187	.211	8.011
8.300	.006	.011	.016	.021	.027	.064	.067	.071	.085	8.385
8.700	.013	.023	.032	.041	.049	.061	.061	.074	.081	8.784
9.300	-.013	-.024	-.032	-.038	-.043	-.041	-.043	-.045	-.040	9.260
9.500	.025	.046	.064	.080	.095	.130	.139	.146	.162	9.662
10.100	.007	.010	.013	.016	.018	.037	.036	.034	.039	10.139
10.500	-.008	-.016	-.024	-.032	-.039	-.057	-.065	-.073	-.083	10.517
10.900	-.019	-.037	-.053	-.069	-.085	-.129	-.142	-.154	-.176	10.724
10.900	19 - .019	17 - .035	16 - .051	16 - .066	17 - .082	20 - .134	11 - .145	12 - .156	24 - .182	10.718
10.700	-.015	-.027	-.039	-.052	-.064	-.115	-.124	-.133	-.159	10.541
10.400	-.016	-.028	-.041	-.054	-.067	-.121	-.129	-.138	-.164	10.236
10.000	-.021	-.037	-.053	-.068	-.082	-.138	-.147	-.155	-.179	9.821
9.400	-.009	-.014	-.020	-.026	-.031	-.068	-.079	-.072	-.087	9.313
8.800	.006	.011	.016	.020	.023	.008	.012	.015	.010	8.810
8.400	.001	.001	.002	.002	.003	-.001	-.004	-.003	-.004	8.396
8.100	-.020	-.036	-.049	-.059	-.067	-.047	-.053	-.058	-.055	8.045
7.300	.052	.095	.135	.170	.201	.268	.288	.306	.334	7.634
7.600	-.013	-.024	-.033	-.041	-.046	-.044	-.047	-.048	-.046	7.554
7.500	-.008	-.015	-.021	-.027	-.032	-.046	-.049	-.051	-.055	7.445
7.300	.003	.006	.008	.010	.012	.009	.010	.011	.011	7.311
7.200	.000	.001	.001	.002	.003	.003	.004	.004	.004	7.204
7.100	.004	.007	.009	.011	.013	.012	.014	.015	.015	7.115
7.100	-.001	-.017	-.023	-.029	-.034	-.041	-.044	-.047	-.050	7.050
6.900	.008	.015	.022	.027	.032	.037	.041	.045	.048	6.948
6.900	.001	.002	.003	.004	.005	.006	.009	.011	.012	6.912

P1= .45  
S1= 1035  
X1= 10  
K2= 0  
B= 5

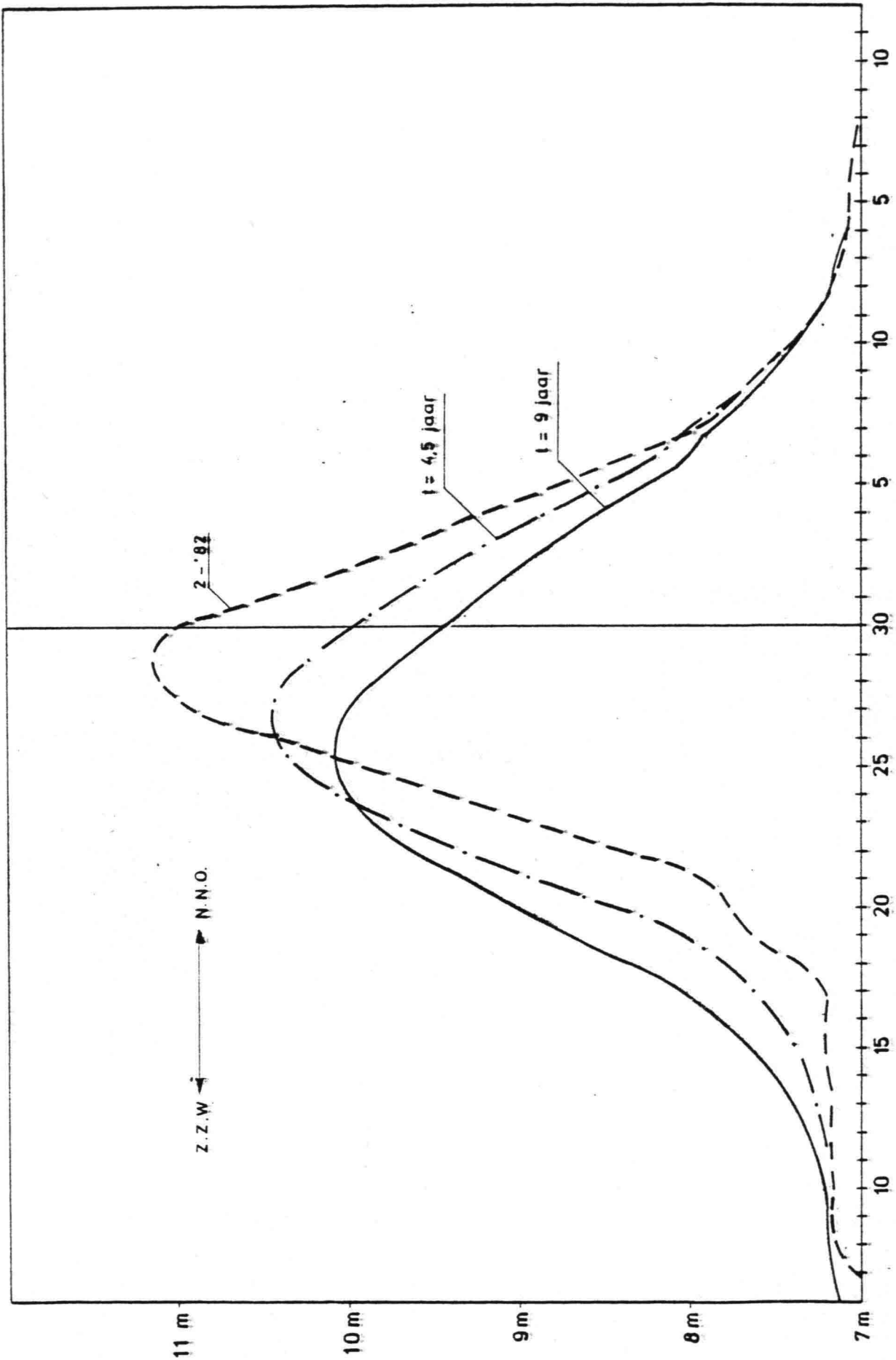
K1= .4  
D1= .000225  
T1= 14162688  
H2= 0  
H= 17

C1= 63  
S2= 2650  
A1= 18  
U1= .48  
F= 58

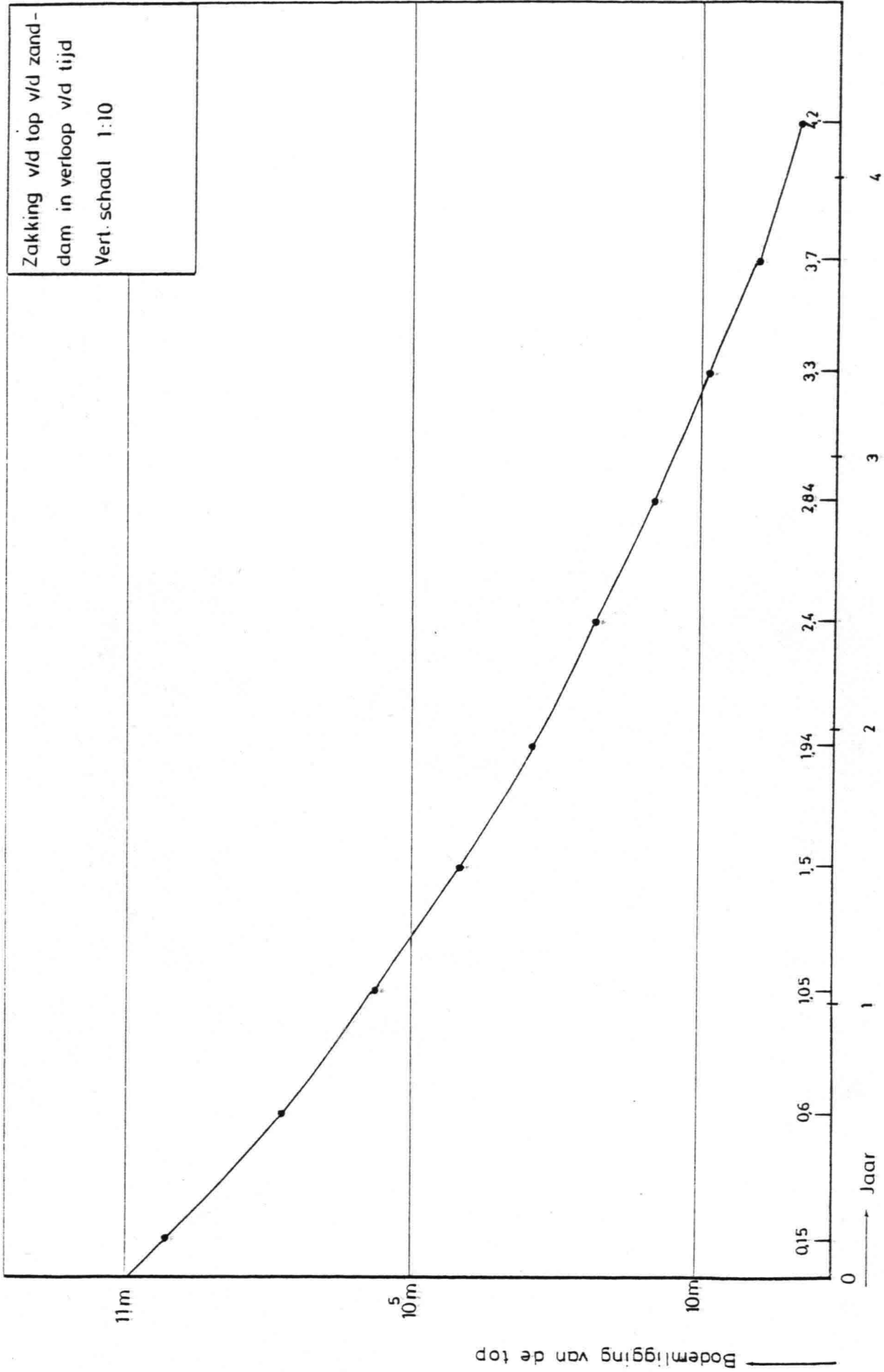
G1= 9.81  
H1= 25  
Y1= 3.621  
D2= 1.560

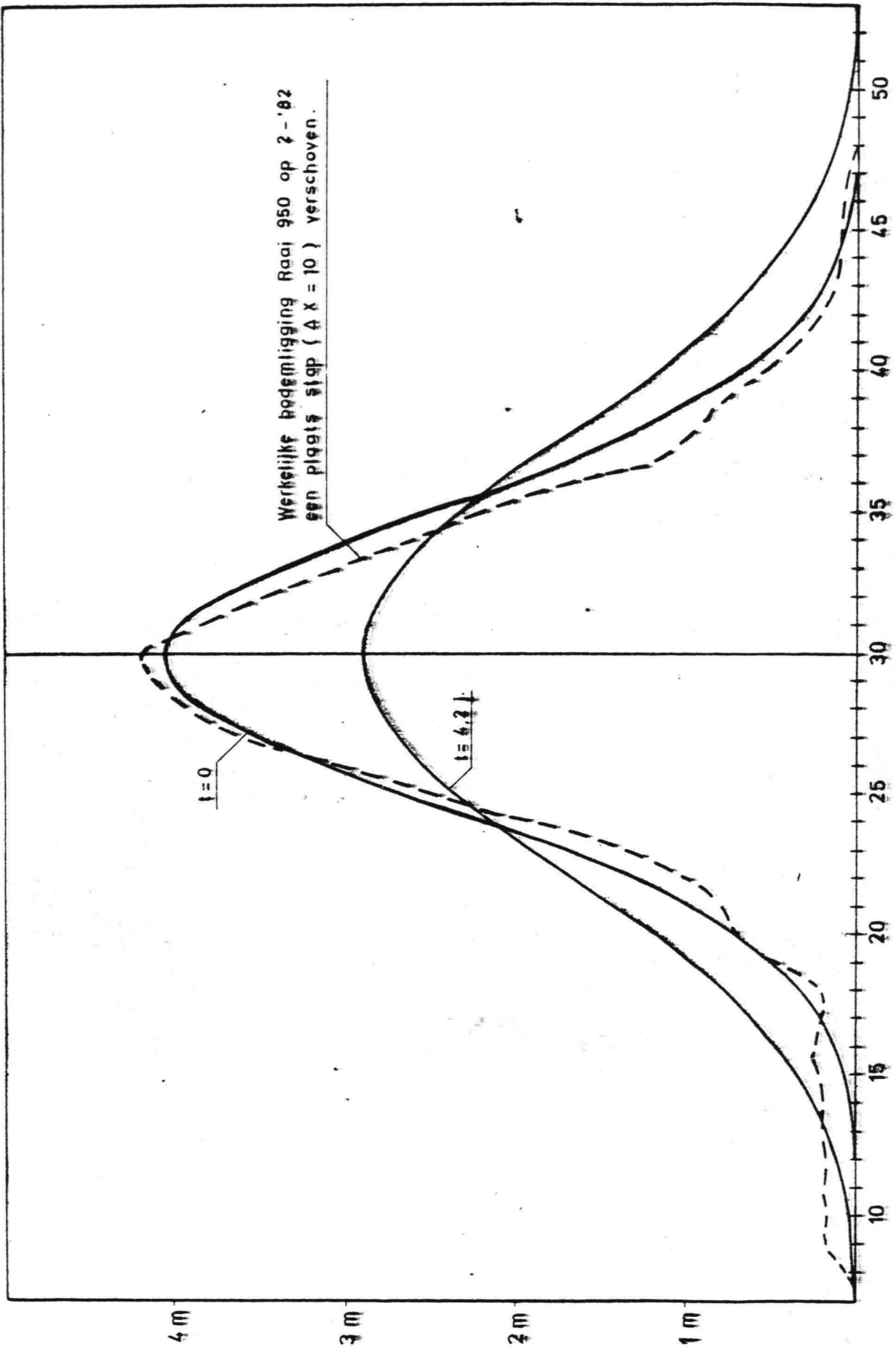
.850 M/SEC. 99139 SE  
.750 M/SEC. 141627 SE  
.650 M/SEC. 467369 SE  
.550 M/SEC. 949900 SE  
.450 M/SEC. 1331293 S  
.350 M/SEC. 1005551 S  
.250 M/SEC. 608996 SE  
.150 M/SEC. 311579 SE  
.050 M/SEC. 70813 SE  
-.750 M/SEC. 212440 SE  
-.650 M/SEC. 906412 SE  
-.550 M/SEC. 1203828 S  
-.550 M/SEC. 1076364 S  
-.350 M/SEC. 750622 SE  
-.250 M/SEC. 665646 SE  
-.150 M/SEC. 410718 SE  
-.050 M/SEC. 70813 SE

tiepte	bodem d=0	verschil d=1.8j	verschil d=3.1j	verschil d=4.5j	bodem d=4.5j	verschil d=5.9j	verschil d=7.2j	verschil d=9.1j	bodem d=9.1j
17.900	7.100	.003	.003	-.003	7.097	-.008	-.010	-.011	7.089
17.900	7.100	.002	-.009	-.015	7.085	-.017	-.016	-.012	7.088
17.850	7.150	-.060	-.073	-.074	7.076	-.071	-.066	-.059	7.091
17.900	7.100	-.045	-.040	-.031	7.069	-.021	-.012	-.002	7.098
18.050	6.950	.071	.103	.124	7.074	.133	.143	.160	7.110
18.050	6.950	.100	.129	.146	7.096	.157	.166	.176	7.126
17.950	7.050	.045	.060	.070	7.120	.073	.085	.095	7.145
17.900	7.200	-.042	-.050	-.050	7.150	-.048	-.043	-.034	7.166
17.800	7.200	-.027	-.032	-.032	7.168	-.029	-.023	-.010	7.190
17.800	7.200	-.006	-.011	-.012	7.188	-.007	.001	.020	7.220
17.800	7.200	-.004	-.004	.002	7.202	.013	.023	.058	7.258
17.800	7.200	-.002	.008	.022	7.222	.042	.067	.111	7.311
17.800	7.200	.010	.021	.052	7.252	.083	.120	.184	7.384
17.850	7.150	.075	.112	.150	7.300	.195	.249	.338	7.488
17.750	7.250	.022	.071	.122	7.372	.184	.260	.381	7.631
17.650	7.350	.013	.063	.130	7.480	.214	.316	.472	7.822
17.800	7.200	.214	.314	.418	7.618	.537	.672	.864	8.064
17.400	7.600	.030	.109	.230	7.830	.379	.540	.753	8.353
17.300	7.700	.049	.199	.381	8.081	.570	.753	.971	8.671
17.300	7.700	.290	.511	.727	8.427	.929	1.107	1.302	9.002
17.050	7.950	.383	.635	.863	8.813	1.057	1.212	1.363	9.313
16.600	8.400	.372	.625	.833	9.233	.989	1.098	1.184	9.584
16.100	8.900	.340	.578	.731	9.531	.823	.874	.892	9.792
15.600	9.400	.341	.492	.567	9.967	.588	.577	.531	9.931
15.000	10.000	.185	.228	.210	10.210	.161	.096	-.003	9.997
14.600	10.400	.086	.032	-.060	10.340	-.163	-.268	-.405	9.995
14.200	10.800	-.102	-.271	-.421	10.373	-.571	-.704	-.867	9.933
14.000	11.000	-.205	-.519	-.700	10.300	-.841	-1.007	-1.182	9.818
13.900	11.100	-.494	-.739	-.936	10.164	-1.108	-1.252	-1.437	9.663
14.200	10.900	-.441	-.662	-.848	9.952	-1.011	-1.156	-1.327	9.473
14.600	10.400	-.312	-.514	-.690	9.710	-.843	-.979	-1.133	9.261
15.000	10.000	-.250	-.423	-.575	9.425	-.709	-.828	-.970	9.030
15.400	9.600	-.201	-.340	-.466	9.134	-.581	-.685	-.803	8.792
15.750	9.250	-.197	-.315	-.419	8.831	-.513	-.598	-.700	8.550
16.200	8.800	-.108	-.189	-.265	8.535	-.337	-.404	-.485	8.315
16.550	8.450	-.077	-.138	-.196	8.254	-.249	-.299	-.361	8.089
16.850	8.150	-.077	-.119	-.157	7.993	-.193	-.226	-.269	7.881
17.200	7.800	-.005	-.020	-.039	7.761	-.059	-.079	-.105	7.695
17.400	7.600	-.012	-.023	-.033	7.567	-.041	-.051	-.065	7.535
17.500	7.400	-.001	.004	.008	7.408	.009	.008	.002	7.402
17.750	7.250	.017	.030	.040	7.290	.046	.043	.045	7.295
17.850	7.150	.027	.043	.054	7.204	.060	.061	.059	7.209
17.950	7.050	.064	.085	.094	7.144	.096	.094	.088	7.138
17.900	7.100	.009	.008	.003	7.103	-.003	-.011	-.023	7.077
17.900	7.100	-.014	-.025	-.038	7.062	-.051	-.063	-.079	7.021



Hor. 1 : 2000  
Schaal :  
Vert. 1 : 33,3





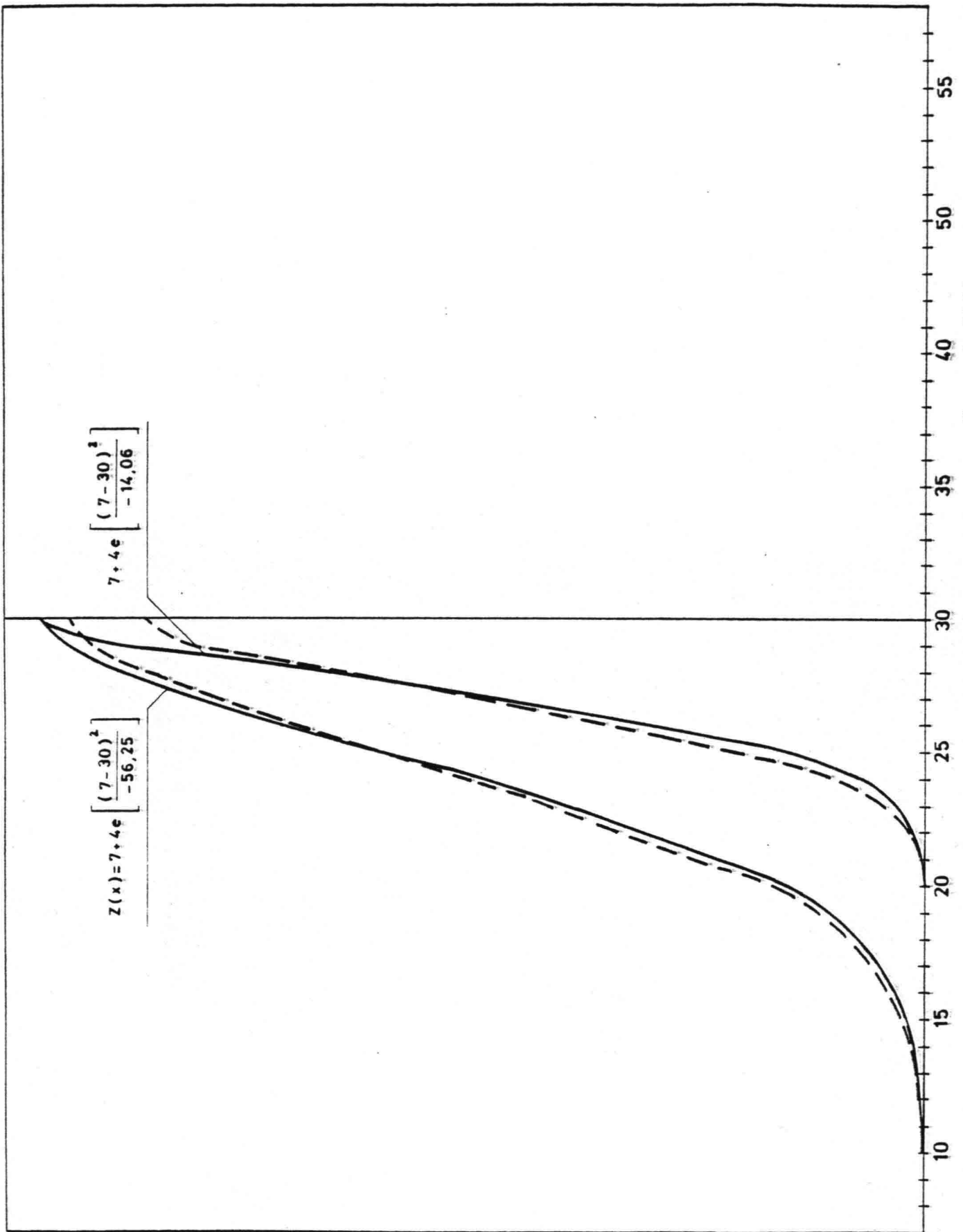
Hor. 1: 2000  
Schaal: Vert. 1: 33.3

Inloed v.d. numerieke plaatsstap-grootte  
en v.d. sdeilheid v.d. zanddam.

$$Z(x) = 7 + 40 \left[ \frac{(7-30)^2}{-58,25} \right]$$

$$7 + 40 \left[ \frac{(7-30)^2}{-14,06} \right]$$

bodemligging m.b.v. e-macht		diepte	daling na 2,5 dagen met dx = 10 m	daling na 25,6 dagen met dx = 10 m	daling na 2,7 dagen met dx = 5 m	heer numering plaats	daling na 54,6 dagen met dx = 5 m	daling na 27,3 dagen met dx = 5 m	daling na 54,6 dagen met dx = 5 m	Con stanten.
7.000	18.008	.000	.000				.008	.000	.000	CI = 9.81 HI = 25 C1 = 67 S2 = 2650 A1 = 18 U1 = .48 F = 90 K1 = .4 D1 = .00225 T1 = 2360448 H2 = 0 M = 20, P1 = .45 S1 = 1035 X1 = . K2 = 0 R = 5 Y1 = 3.621 D2 = 1.560
7.000	18.008	.000	.000			16	.010	.000	.000	
7.000	18.008	.000	.000				.008	.000	.000	
7.000	18.008	.000	.000			17	.010	.000	.000	
7.000	18.008	.000	.000				.011	.000	.000	
7.000	18.008	.000	.000			18	.013	.000	.000	
7.000	18.008	.000	.000				.014	.000	.000	
7.001	17.999	.000	.000			19	.016	.000	.001	
7.002	17.998	.000	.000				.017	.000	.001	
7.003	17.997	.000	.001			20	.018	.001	.002	
7.007	17.993	.000	.001				.020	.002	.003	
7.013	17.987	.001	.002			21	.020	.003	.006	
7.023	17.977	.001	.003				.020	.004	.008	
7.042	17.958	.002	.004			22	.020	.007	.014	
7.073	17.927	.003	.006				.019	.010	.021	
7.123	17.877	.005	.009	.004		23	.018	.014	.029	
7.198	17.802	.006	.012	.005			.019	.019	.035	
7.309	17.691	.008	.016	.006		24	.012	.025	.051	
7.465	17.535	.010	.020	.008			.007	.031	.062	
7.676	17.324	.011	.023	.009		25	.002	.036	.072	
7.948	17.052	.012	.024	.010			-.004	.040	.077	
8.282	16.718	.012	.024	.010		26	-.011	.039	.076	
8.674	16.326	.010	.020	.009			-.018	.034	.064	
9.109	15.891	.006	.012	.006		27	-.025	.022	.040	
9.565	15.435	.001	.001	.001			-.032	.004	.003	
10.010	14.990	-.007	-.014	-.005		28	-.038	-.021	-.045	
10.409	14.591	-.015	-.030	-.012			-.044	-.040	-.097	
10.725	14.275	-.023	-.045	-.019		29	-.048	-.075	-.145	
10.970	14.070	-.029	-.056	-.024			-.051	-.094	-.180	
11.000	14.000	-.031	-.061	-.026		30	-.052	-.102	-.193	
10.930	14.070	-.029	-.057	-.025			-.051	-.093	-.187	
10.725	14.275	-.024	-.047	-.020		31	-.048	-.077	-.148	
10.409	14.591	-.016	-.032	-.013			-.044	-.051	-.101	
10.010	14.990	-.008	-.015	-.005		32	-.039	-.022	-.048	
9.565	15.435	.000	-.000	.001			-.032	.003	.001	
9.109	15.891	.006	.012	.006		33	-.025	.022	.039	
8.674	16.326	.010	.020	.009			-.018	.034	.064	
8.282	16.718	.012	.024	.010		34	-.011	.040	.076	
7.948	17.052	.012	.025	.010			-.004	.040	.078	
7.676	17.324	.012	.023	.009		35	.002	.037	.072	
7.465	17.535	.010	.020	.007			.007	.032	.063	
7.309	17.691	.008	.016	.006		36	.011	.026	.051	
7.198	17.802	.006	.013	.005			.015	.020	.040	
7.123	17.877	.005	.009	.004		37	.018	.014	.029	
7.073	17.927	.003	.007	.003			.019	.010	.021	



Hor. 1 : 2000  
 Vert. 1 : 25  
 Schaal : v.d zakkig . 1 : 10



plots	0	07	1,5	22	3	3,7	4,5	52	6	juor
0	7.000	7.000	7.000	7.000	7.000	7.000	7.000	7.000	7.001	
1	7.000	7.000	7.000	7.000	7.000	7.000	7.000	7.001	7.001	
2	7.000	7.000	7.000	7.000	7.000	7.000	7.001	7.001	7.002	
3	7.000	7.000	7.000	7.000	7.000	7.001	7.001	7.002	7.003	
4	7.000	7.000	7.000	7.000	7.001	7.001	7.002	7.004	7.005	
5	7.000	7.000	7.000	7.001	7.002	7.003	7.004	7.006	7.008	
6	7.000	7.000	7.001	7.002	7.003	7.005	7.007	7.010	7.013	
7	7.000	7.001	7.002	7.003	7.005	7.008	7.011	7.016	7.021	
8	7.001	7.002	7.003	7.006	7.009	7.013	7.018	7.024	7.031	
9	7.002	7.003	7.006	7.010	7.015	7.021	7.029	7.037	7.047	
10	7.003	7.006	7.011	7.017	7.025	7.034	7.044	7.056	7.069	
11	7.007	7.012	7.019	7.029	7.040	7.053	7.067	7.083	7.099	
12	7.013	7.021	7.033	7.047	7.063	7.080	7.099	7.119	7.140	
13	7.024	7.037	7.055	7.074	7.096	7.120	7.144	7.169	7.194	
14	7.042	7.064	7.088	7.115	7.144	7.174	7.204	7.235	7.265	
15	7.073	7.104	7.138	7.174	7.211	7.248	7.284	7.319	7.354	
16	7.123	7.166	7.210	7.256	7.301	7.344	7.386	7.426	7.464	
17	7.199	7.255	7.311	7.366	7.419	7.468	7.514	7.557	7.597	
18	7.310	7.380	7.447	7.510	7.569	7.622	7.671	7.715	7.755	
19	7.466	7.549	7.625	7.693	7.754	7.808	7.856	7.898	7.936	
20	7.677	7.768	7.847	7.916	7.975	8.026	8.070	8.107	8.139	
21	7.948	8.040	8.116	8.179	8.231	8.274	8.309	8.337	8.360	
22	8.283	8.364	8.428	8.478	8.516	8.545	8.567	8.583	8.595	
23	8.675	8.734	8.775	8.804	8.822	8.833	8.838	8.838	8.835	
24	9.110	9.134	9.144	9.144	9.137	9.125	9.110	9.092	9.072	
25	9.565	9.544	9.515	9.481	9.445	9.408	9.371	9.334	9.297	
26	10.010	9.937	9.865	9.796	9.730	9.668	9.608	9.552	9.499	
27	10.409	10.285	10.172	10.069	9.975	9.889	9.809	9.736	9.668	
28	10.726	10.558	10.410	10.280	10.163	10.058	9.962	9.875	9.795	
29	10.930	10.732	10.562	10.413	10.281	10.164	10.058	9.962	9.875	
30	11.000	10.792	10.614	10.459	10.322	10.200	10.091	9.992	9.902	TOP
31	10.930	10.732	10.562	10.413	10.281	10.164	10.058	9.962	9.875	
32	10.726	10.558	10.410	10.280	10.163	10.058	9.962	9.875	9.795	
33	10.409	10.285	10.172	10.069	9.975	9.889	9.809	9.736	9.668	
34	10.010	9.937	9.865	9.796	9.730	9.668	9.608	9.552	9.499	
35	9.565	9.544	9.515	9.481	9.445	9.408	9.371	9.334	9.297	
36	9.110	9.134	9.144	9.144	9.137	9.125	9.110	9.092	9.072	
37	8.675	8.734	8.775	8.804	8.822	8.833	8.838	8.838	8.835	
38	8.283	8.364	8.428	8.478	8.516	8.545	8.567	8.583	8.595	
39	7.948	8.040	8.116	8.179	8.231	8.274	8.309	8.337	8.360	
40	7.677	7.768	7.847	7.916	7.975	8.026	8.070	8.107	8.139	
41	7.466	7.549	7.625	7.693	7.754	7.808	7.856	7.898	7.936	
42	7.310	7.380	7.447	7.510	7.569	7.622	7.671	7.715	7.755	
43	7.199	7.255	7.311	7.366	7.419	7.468	7.514	7.557	7.597	
44	7.123	7.166	7.210	7.256	7.301	7.344	7.386	7.426	7.464	
45	7.073	7.104	7.138	7.174	7.211	7.248	7.284	7.319	7.354	
46	7.042	7.064	7.088	7.115	7.144	7.174	7.204	7.235	7.265	
47	7.024	7.037	7.055	7.074	7.096	7.120	7.144	7.169	7.194	
48	7.013	7.021	7.033	7.047	7.063	7.080	7.099	7.119	7.140	
49	7.007	7.012	7.019	7.029	7.040	7.053	7.067	7.083	7.099	
50	7.003	7.006	7.011	7.017	7.025	7.034	7.044	7.056	7.069	

Vergelijking v.d. 'analytische' en 'numerieke' zekking v.d. top.

0	0.20	0.39	0.54	0.60	0.80	0.91	1.01	1.10	
0	0.20	0.51	0.56	0.73	0.86	0.96	1.03	1.14	zie bijlage L1

$$\frac{dx}{dt} = c = \frac{dS}{dV} \cdot V$$

$$\text{K.F.} : S = \frac{B D V \sqrt{g}}{c} \exp\left(\frac{-0.27 \cdot \Delta \cdot D \cdot \rho \cdot g}{\mu(\rho \cdot g \cdot \frac{V^2}{c^2} + \tau_w) + \tau_{\alpha}^{0.819}}\right)$$

$$\frac{dS}{dV} = \exp\left(\frac{-0.27 \cdot \Delta \cdot D \cdot \rho \cdot g}{\mu(\rho \cdot g \cdot \frac{V^2}{c^2} + \tau_w) + \tau_{\alpha}^{0.819}}\right) \frac{B \cdot D \cdot V \sqrt{g}}{c} \left(1 + \frac{0.27 \cdot 2 \cdot \Delta \cdot D \cdot \mu \cdot \rho^2 \cdot g \cdot V^2}{c^2 (\mu(\rho \cdot g \cdot \frac{V^2}{c^2} + \tau_w) + \tau_{\alpha}^{0.819})^2}\right)$$

$$\text{E.H.} : S = \frac{0.05 \cdot C \cdot V}{\rho^2 \cdot g^{2.5} \cdot \Delta^2 \cdot D} \left( (\tau_w + \tau_c) + \frac{\tau_{\alpha}^2}{\mu \cdot 819} \right)$$

$$\frac{dS}{dV} = \frac{0.05 \cdot C}{\rho^2 \cdot g^{2.5} \cdot \Delta^2 \cdot D} \left( ((\tau_w + \tau_c) + \frac{\tau_{\alpha}^2}{\mu \cdot 819}) + 4 \left( (\tau_w + \tau_c) + \frac{\tau_{\alpha}^2}{\mu \cdot 819} \right) \tau_c \right)$$

$$\text{M.P.M.} : S = \frac{V D^{0.5}}{g^{0.5} \Delta \rho} \cdot 13.33 \left( \frac{\mu}{\Delta \cdot D \cdot c^2} - \frac{(\tau_{co} + \tau_{\alpha})^{0.819}}{(\rho_s - \rho) \cdot g \cdot D \cdot V^2} \right)^{0.5}$$

$$\begin{aligned} & * (\mu(\tau_c + \tau_w) - \tau_{co} + \tau_{\alpha})^{0.819} \\ & = A1 \cdot V \cdot \left( A2 - \frac{A3}{V^2} \right)^{0.5} (A4 \cdot V^2 + A5 - A6) \end{aligned}$$

A1 en A2 zijn constanten, A3 en A6 zijn afhankelijk van de helling. A5 is afhankelijk van de golfinvloed.

$$\frac{dS}{dV} = (3 \cdot A1 \cdot A4 \cdot V^2 + A1 \cdot A5) \left( A2 - \frac{A3}{V^2} \right)^{0.5} + (A1 \cdot A4 \cdot V^3 + A1 \cdot A5 \cdot V - A1 \cdot A6) \left( A2 - \frac{A3}{V^2} \right)^{-0.5} \cdot A3 \cdot V$$

$$\text{waarin : } A1 = \frac{D^{0.5} \cdot 13.33}{\xi \cdot \Delta \cdot \rho}$$

$$A2 = \frac{\mu}{\Delta \cdot D \cdot c^2}$$

$$A3 = \frac{\tau_{co} + \tau_{\infty} \cdot 1.19^{-1}}{(\rho_s - \rho) \cdot g \cdot D}$$

$$A4 = \frac{\mu \cdot \rho \cdot g}{c^2}$$

$$A5 = \mu \cdot \tau_w$$

$$A6 = \tau_{co} - \frac{\tau_{\infty}}{1.19}$$

Aan de hand van deze formules kan de voortplantings-snelheid bepaald worden met medeneming van de golfinvloed en de hellinginvloed.

Voor het bepalen van de  $c_{max}$  voor de numerieke stabiliteit moeten de volgende gegevens ingevuld worden.

- maximale stroomsnelheid (top v.d. zanddam)
- minimale diepte
- maximale golfinvloed (top v.d. zanddam)
- helling i.h.a. verwaarloosbaar.

$$\hat{u}_b = \frac{\pi H}{T} \cdot \frac{1}{\sinh(ka)}$$

$$\tau_w = \frac{1/2 \rho g (\xi)^2}{c^2} \hat{u}_b^2 = K \hat{u}_b^2 \quad K = 17 \text{ kg/m}^3$$

$$\tau_w = K \cdot H^2 \cdot \gamma \quad \text{N/m}^2$$

$\gamma =$

diepte	18 m	14 m	10 m
T= 6 sec.	0.014	0.040	0.096
T= 6 sec.	0.058	0.084	0.144

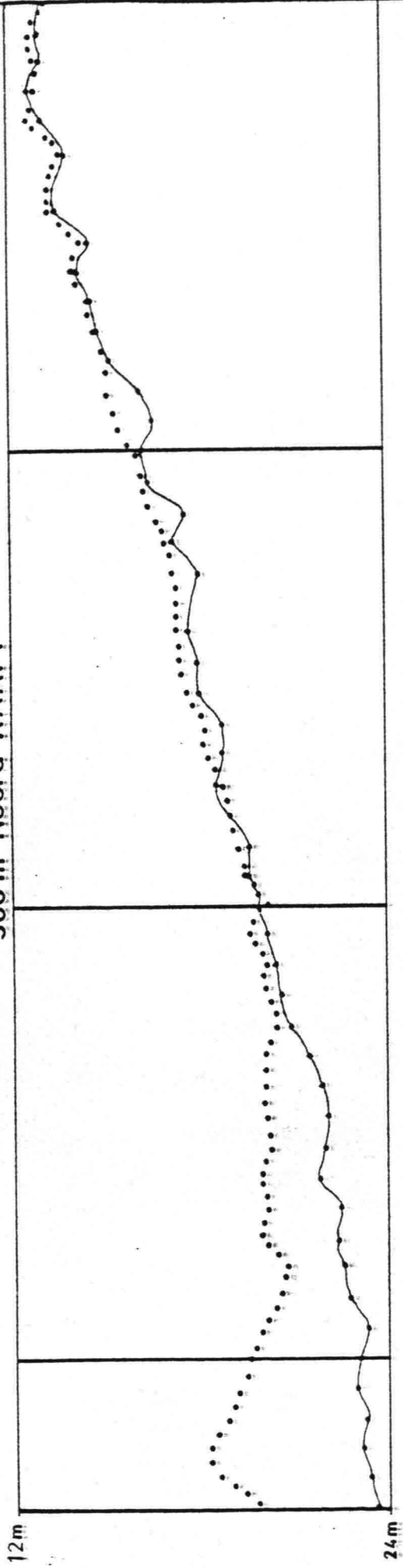
$\tau_w = \text{N/m}^2$

$\gamma$ / Hs	0.5	1	1.5	2
0.014	0.06	0.24	0.54	0.95
0.042	0.17	0.68	1.53	2.72
0.058	0.25	0.99	2.21	3.94
0.084	0.36	1.36	3,06	5,71
0.096	0.41	1.63	3.67	6.53
0.144	0.61	2.45	5.51	9.79

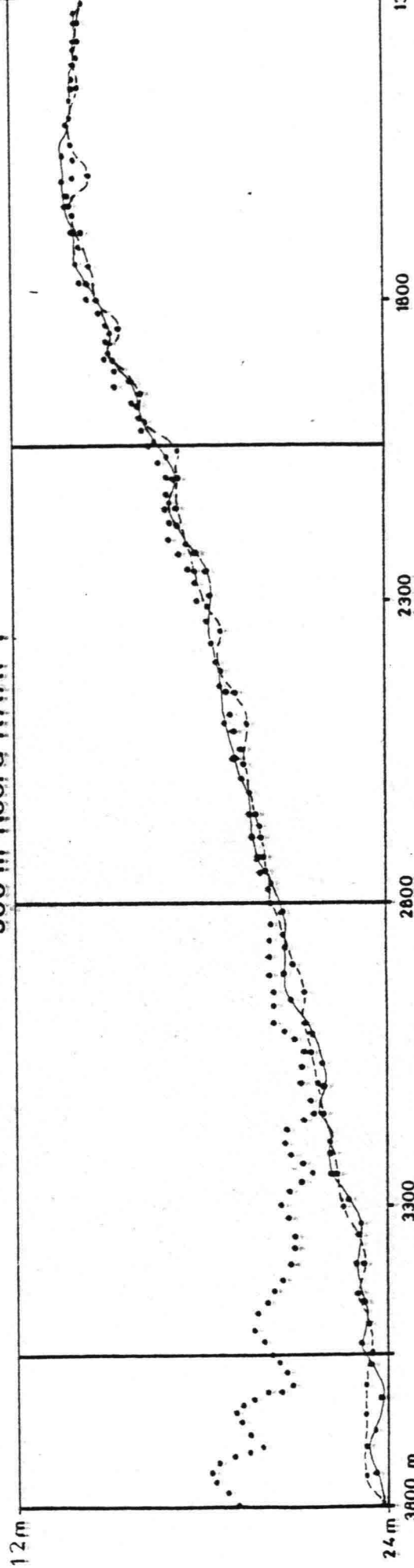
stroom invloed

v	$\tau_c$
0.25	0.16
0.5	0.64
0.75	1.44
1	2.56

300 m Noord RAAI F

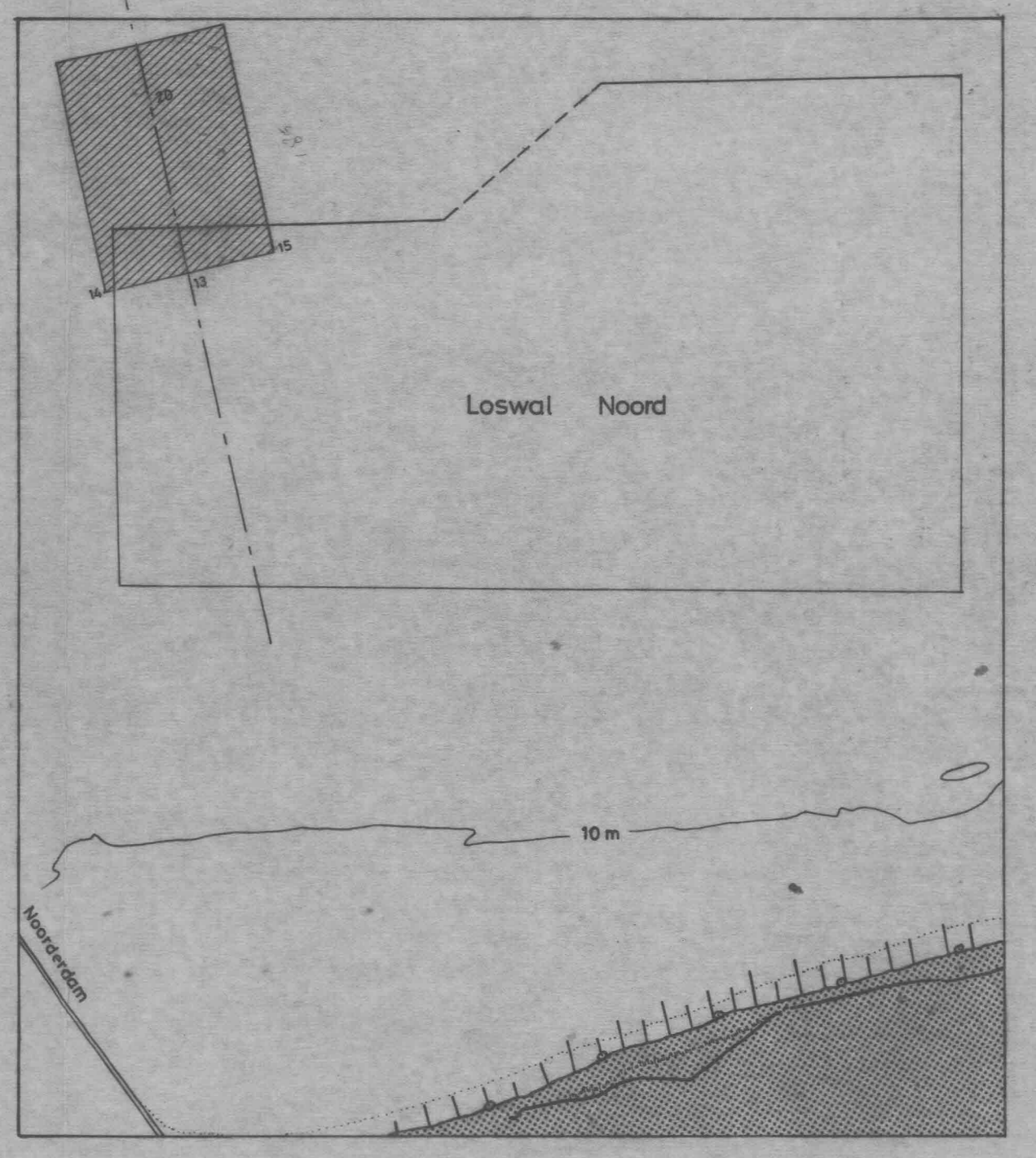
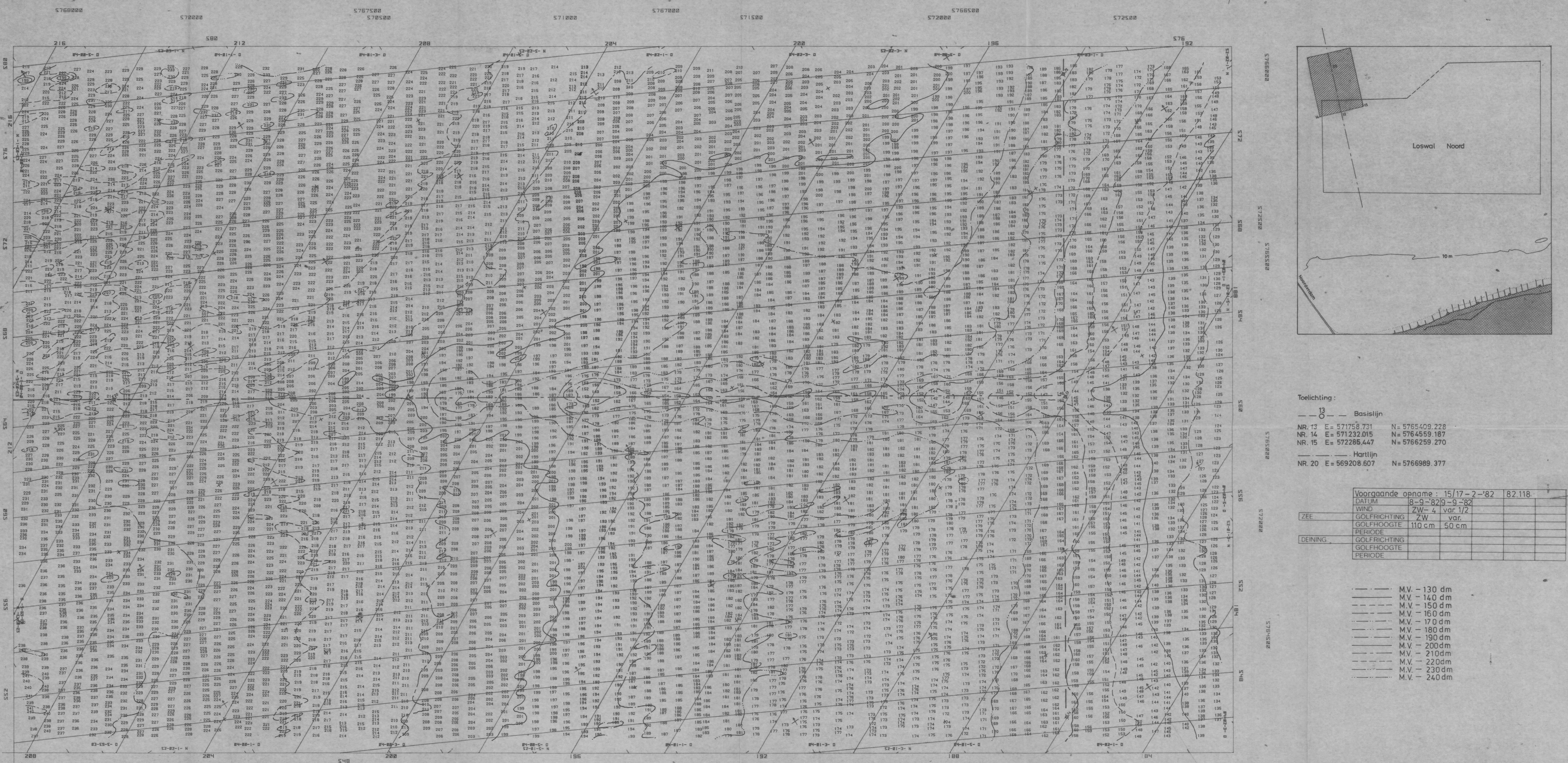


500 m Noord RAAI F



VERT. 1:100  
HOR. 1:10.000

- ..... 26-10-'81
- 15-2-'82
- ..... 9-8-'82



Toelichting:  
 --- 13 --- Basislijn  
 NR. 13 E= 57158.731 N= 5765409.228  
 NR. 14 E= 571232.015 N= 5764559.187  
 NR. 15 E= 572285.447 N= 5766259.270  
 --- Hartlijn  
 NR. 20 E= 569208.607 N= 5766989.377

Voorgaande opname:	15/17-2-'82	82.118
DATUM	8-9-82	9-82
WIND	ZW-4	var. 1/2
ZEE	GOLFRICHTING	ZW
	GOLFHOOGTE	110 cm 50 cm
DEINING:	GOLFRICHTING	
	GOLFHOOGTE	
	PERIODE	

- M.V. - 130 dm
- M.V. - 140 dm
- M.V. - 150 dm
- M.V. - 160 dm
- M.V. - 170 dm
- M.V. - 180 dm
- M.V. - 190 dm
- M.V. - 200 dm
- M.V. - 210 dm
- M.V. - 220 dm
- M.V. - 230 dm
- M.V. - 240 dm

rijkswaterstaat  
 directie noordzee  
 Zuid-Westpunt Loswal Noord  
 zandberging Eurogeul.  
 autom. nr. 58.05.01

opgenomen.	gewijzigd.	gec.	get.	gez.	acc.	schaal 1 : 5000
						B 5 nr. 82.518

