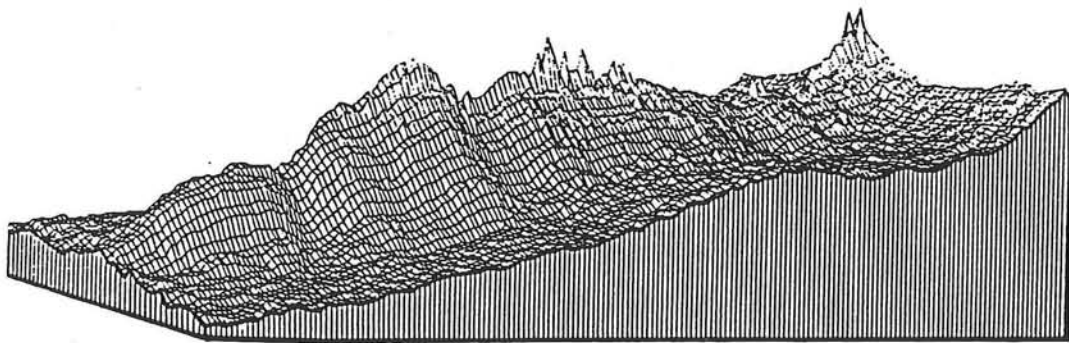


# DE ONDERWATER ZANDDAM BIJ LOSWAL NOORD: GEDRAG EN ZANDTRANSPORT

November 1995

C.C. van Woudenberg



Dit afstudeerverslag is in samenwerking met Directie Noordzee van Rijkswaterstaat totstandgekomen.

Afstudeercommissie : Prof. ir. K. d'Angremond  
Dr. ir. J. van de Graaff  
Dr. J. Wiersma  
Ir. P.J. Visser

## VOORWOORD

Voor U ligt een onderzoek naar de stabiliteit van en de lokale zandtransporten ter plaatse van een onderwater zanddam die loodrecht op de overheersende getijstroomrichting gepositioneerd is. Dit onderzoek is in het kader van mijn afstudeerwerk aan de Technische Universiteit van Delft uitgevoerd in samenwerking met Rijkswaterstaat, Directie Noordzee. Directie Noordzee heeft middels een stageplaats de mogelijkheid geboden het onderzoek bij hen te verrichten.

Ik wil graag de Baggerdienst (afdeling MTB) van Directie Noordzee bedanken voor het verlenen van een stageplaats en alle mogelijke faciliteiten die zij tijdens deze stage hebben geboden. Tevens wil ik alle medewerkers van deze afdeling bedanken voor de prettige, open en gezellige samenwerking gedurende mijn stage. Tom Haksteen wil ik bedanken voor de buitengewone behulpzaamheid, de goede samenwerking en de gezelligheid.

Verder ben ik dank verschuldigd aan alle personen die mij in een persoonlijk gesprek advies en informatie verschaft hebben. Met name medewerkers van het Rijks Instituut voor Kust en Zee, de Rijks Geologische Dienst en hoofdafdeling Mariene Techniek van Directie Noordzee. Jaap van Tuyl wil ik bedanken voor alle aanpassingen die hij in het programma SIB heeft aangebracht, zodat dit programma geschikt werd om te gebruiken voor de analyse van het gedrag van de zanddam.

Tenslotte wil ik dr. J. Wiersma en dr. ir. J. van de Graaff bedanken voor de begeleiding tijdens mijn afstuderen.

Caroline van Woudenberg  
Rijswijk, 28 november 1995.

## SAMENVATTING

In het kader van onderzoek naar processen die zich langs de Nederlandse kust afspelen, is in 1981 en 1982 een onderwater zanddam aangelegd bij Loswal Noord ter hoogte van Hoek van Holland. Deze onderwater zanddam is nagenoeg loodrecht op de overheersende getijstroomrichting gepositioneerd. Het doel van de aanleg van deze onderwater zanddam was destijds om de stabiliteit van een dergelijke zanddam te onderzoeken en om de zandtransporten te bepalen ter plaatse van deze zanddam. In 1983 is door twee afstudeerders een numeriek model opgezet om het gedrag te voorspellen en de zandtransporten te berekenen [Redeker en Kollen, 1983]. Na 12,5 jaar zijn er middels lodingen voldoende gegevens beschikbaar om het gedrag van de zanddam te beschrijven en de zandtransporten te bepalen.

Tijdens het onderzoek naar het gedrag van de zanddam zijn gegevens verzameld die nodig waren om het gedrag van de zanddam te kunnen beschrijven en gegevens die invloed op het gedrag van en het zandtransport ter plaatse van de zanddam kunnen hebben. Van de volgende gegevens is tijdens dit onderzoek gebruik gemaakt:

- lodingsgegevens van 1982 tot en met 1995,
- nauwkeurigheid van de lodingen,
- stortgegevens van de jaren 1982 tot en met 1986,
- wind- en golfgegevens,
- getijstroomgegevens,
- bodemgegevens,
- invloed van de Rijnafvoer,
- beschrijving van het gedrag van zandgolven.

Het blijkt dat verschillende factoren invloed hebben op het gedrag van en de zandtransporten ter plaatse van de zanddam. De invloed van deze factoren zijn echter niet te kwantificeren.

Vervolgens is een beschrijving van het gedrag van de zanddam gegeven. Om de stabiliteit te onderzoeken zijn de volgende aspecten van de zanddam bestudeerd:

- verplaatsing van de kam, zwaartelijnen en damvoeten,
- veranderingen in de hoogte van de zanddam, van de hellingen en van de kuberingen.

Daarnaast is nagegaan of er verbanden tussen deze aspecten bestaan. Tussen een aantal aspecten blijkt inderdaad een verband te bestaan. Ook zijn de resultaten uit het onderzoek naar het gedrag van de zanddam vergeleken met de voorspellingen en berekeningen van Redeker en Kollen. De voorspellingen blijken niet zo heel goed overeen te komen met de gevonden resultaten.

Uit de beschrijving van het gedrag van de zanddam kan geconcludeerd worden dat de zanddam stabiel is voor het gedeelte van de zanddam dat op een waterdiepte ligt die groter is dan 19 m. De zanddam blijft op zijn plaats liggen, neemt wel in hoogte iets af, maar niet noemenswaardig veel. De zanddam wordt in dit gedeelte ook asymmetrisch. In het ondieper gelegen gedeelte is de zanddam niet stabiel.

De hoogte van de zanddam neemt duidelijk af in de loop der tijd en er vindt een verplaatsing van de gehele zanddam in noordoostelijke richting plaats. De maximale verplaatsing is 150 m in 12,5 jaar. Met deze verplaatsingen moet zeker rekening gehouden worden als op deze diepte een zanddam een onderdeel gaat vormen van een constructie (bijvoorbeeld een slibberging). De asymmetrie van de zanddam in het stabiele gedeelte is groter dan de asymmetrie in het ondiepe gedeelte.

Met betrekking tot overeenkomsten die er tussen de aangelegde zanddam en natuurlijk ontstane zandgolven zijn, kan het volgende geconcludeerd worden:

- In het gedeelte dat dieper dan 18 m ligt, komen megaribbels voor. Dit fenomeen wordt ook bij zandgolven geconstateerd. De zandgolven komen op natuurlijke wijze vanaf een waterdiepte van 20 m voor.
- Bij de zanddam wordt in twee van de elf lodingsintervallen voornamelijk een toename van de hoogte van de top geconstateerd; deze toename hangt waarschijnlijk samen met de megaribbels die op de flanken aan de zuidzijde van de zanddam voorkomen. Bij zandgolven zijn deze verhogingen seizoensgebonden.
- Bij de zanddam wordt in twee lodingsintervallen een achterwaartse verplaatsing van de kam van de zanddam geconstateerd. Dit is een fenomeen dat ook bij zandgolven voorkomt.
- De verplaatsing in het diepe gedeelte is vrijwel nihil en komt overeen met het verplaatsingsgedrag van de zandgolven in de Eurogeul.

Ook is de functie van de zanddam als slibvang en -geleider nagegaan. Hiervoor zijn bodemonsters genomen en side-scan sonar opnames gemaakt in het lodingsgebied. Na de interpretatie van de gegevens kon vastgesteld worden dat de zanddam niet als slibvang fungeert. Of de zanddam wel of niet als slibgeleider werkt, kan niet direct uit de gegevens geconcludeerd worden. De opnames met de side-scan sonar waren daar in dit geval niet geschikt voor. Het moet in principe wel mogelijk zijn een slibwolk te detecteren en vervolgens te volgen.

Met betrekking tot kustuitbreidingen kan alleen aangegeven worden wat de helling in de richting loodrecht op de overheersende getijstrooming is, die in de loop der tijd wordt aangenomen. Het blijkt dat dit hellingen van ongeveer 1:150 zijn.

Tenslotte zijn de zandtransporten loodrecht op de zanddam (langtransport) uit de beschikbare lodingen bepaald door middel van het bepalen van de S-curve, die het verloop van het zandtransport over de breedte van de zanddam aangeeft.

De zandtransporten zijn ook berekend met het nieuwe model van Ribberink [Koelewijn en Ribberink, 1994]. Dit model is geschikt om bodemtransportberekeningen onder invloed van een combinatie van golven en strooming te berekenen. De uit de lodingen bepaalde zandtransporten zijn gebruikt om het nieuwe model van Ribberink te ijken met behulp van de bodemruwheidshoogte parameter  $k_s$ . Het blijkt dat een bodemruwheidshoogte van 0,005 m goede resultaten geeft.

De zandtransporten zijn in dat geval groter dan wanneer de waarde  $k_s = 3\theta D_{90}$  voor  $\theta > 1$  en  $k_s = 3D_{90}$  voor  $\theta \leq 1$ , die door Ribberink wordt geadviseerd, wordt gebruikt. Tijdens de berekeningen is aangenomen dat de richting van de golven ten opzichte van de stroming geen invloed heeft op de zandtransporten.

De resultaten die uit het nieuwe model van Ribberink volgen, zijn vervolgens vergeleken met de zandtransporten die in de nota van Van Rijn [Van Rijn, 1995] worden besproken en de zandtransporten die uit de evaluatie van de puntstort bij Wijk aan Zee [Verhagen en Wiersma, 1992] volgen. Over het algemeen genomen komen de resultaten van de verschillende berekeningen en onderzoeken redelijk met elkaar overeen.

Uit de berekeningen die zijn uitgevoerd met het nieuwe model van Ribberink, volgt dat het zandtransport (zonder de verstoring van de zanddam) tussen de 7 en de 26 m<sup>3</sup>/m/j varieert (exclusief poriën). Dit is geldig voor zandtransporten evenwijdig aan de kust op een waterdiepte van 15 tot 23 m.

## **INHOUDSOPGAVE**

### VOORWOORD

### SAMENVATTING

HOOFDSTUK 1	Inleiding	
1.1	Voorgeschiedenis	1
1.2	Doel van het onderzoek	1
1.3	Opzet van het onderzoek	2
HOOFDSTUK 2	Fenomenologische beschrijving van de zanddam	
2.1	Inleiding	3
2.2	Situatiebeschrijving 1983	3
2.3	Dwarsdoorsneden van de zanddam	5
2.4	3-D presentatie van de zanddam	8
HOOFDSTUK 3	Benodigde gegevens voor het onderzoek	
3.1	Inleiding	11
3.2	Lodingkaarten	11
3.3	Nauwkeurigheid van de lodingen	12
	3.3.1 Inleiding	12
	3.3.2 Herhaalbaarheid	12
	3.3.3 Single- en multi-beam opname	13
3.4	Stortgegevens	16
3.5	Wind- en golfgegevens	17
	3.5.1 Inleiding	17
	3.5.2 Windgegevens	17
	3.5.3 Golfgegevens	17
3.6	Getijstroomgegevens	18
	3.6.1 Inleiding	18
	3.6.2 Triwaq	18
	3.6.3 Gemeten getijstroom	19
3.7	Bodemonderzoek	22
3.8	Invloed van de Rijnafvoer	25
3.9	Gedrag van zandgolven	26

HOOFDSTUK 4	Beschrijving van het gedrag van de onderwater zanddam	
4.1	Inleiding	29
4.2	Verplaatsing van de kam	29
4.3	Verplaatsing van de zwaartelijn	34
4.4	Verplaatsing van de damvoeten	37
4.5	Verandering van de hoogte van de top	40
4.6	Verandering van de hellingen	44
	4.6.1 Inleiding	44
	4.6.2 Hellingen van de zanddam	44
	4.6.3 Hellingen in het lodingsgebied evenwijdig aan de as van de zanddam	48
4.7	Veranderingen van de kuberingen	49
	4.7.1 Inleiding	49
	4.7.2 Kuberingen van de raaien over 1800 m	49
	4.7.3 Kuberingen van de dwarsdoorsnede van de zanddam	51
	4.7.4 Correlatie tussen de kuberingen van de dwarsdoorsnede van de zanddam en de hele raai	52
	4.7.5 Verschilkuberingen van het hele lodingsgebied	53
4.8	Relatie tussen de verschillende onderzoeksaspecten	56
	4.8.1 Inleiding	56
	4.8.2 Relatie tussen de verplaatsing van de zwaartelijnen en de verplaatsing van de kam en tussen de zuid- en noordhelling van de zanddam	57
	4.8.3 Correlatie tussen de inhoud van de zanddam, de waterdiepte en respectievelijk de verplaatsing van de zwaartelijnen en de hoogteveranderingen van de top van de zanddam	58
4.9	De functie van de zanddam als slibvang en -geleider	59
4.10	Conclusies	61
4.11	Vergelijking met het rapport van Redeker en Kollen wat betreft het gedrag van de zanddam	64
HOOFDSTUK 5	Zandtransportberekeningen	
5.1	Inleiding	66
5.2	Soort zandtransport	66
	5.2.1 Inleiding	66
	5.2.2 Bepalen van de kritische snelheden	68
	5.2.3 Transport door getij	69
	5.2.4 Transport door golven	70
5.3	Zandtransporten uit de lodingen	70
	5.3.1 Inleiding	70
	5.3.2 Methode van berekening	71
	5.3.3 Resultaten van de berekeningen	75
	5.3.4 De invloed van de asymmetrie en de hellingen van de zanddam op het zandtransport	78
	5.3.5 Relatie tussen het zandtransport en de waterdiepte	79

5.4	Zandtransportberekeningen met het nieuwe model van Ribberink	80
5.4.1	Inleiding	80
5.4.2	Het nieuwe model van Ribberink	80
5.4.3	Schematiseringen	83
5.4.4	Invoer benodigd voor de zandtransportberekeningen	85
5.4.5	Resultaten van de zandtransportberekeningen	87
5.5	Zandtransporten volgens de nota van Van Rijn en het rapport Wijk aan Zee	92
5.5.1	Inleiding	92
5.5.2	Resultaten uit de nota van Van Rijn	93
5.5.3	Resultaten uit het rapport Wijk aan Zee	94
5.6	Vergelijking tussen de berekende en waargenomen zandtransporten	95
5.7	Conclusies	98

HOOFDSTUK 6 Conclusies en Aanbevelingen

6.1	Inleiding	100
6.2	Conclusies	100
6.3	Aanbevelingen	102

LIJST MET SYMBOLEN	104
--------------------	-----

LITERATUURLIJST	106
-----------------	-----

BIJLAGEN

Bijlage A	3-D presentatie.
Bijlage B1	Herhaalbaarheid van de lodingen.
Bijlage B2	Berekening van de ophoging van de single-beam loding.
Bijlage C1	Windgegevens.
Bijlage C2	Golfgegevens Lichteiland Goeree.
Bijlage D1	Gemeten getijstroom.
Bijlage D2	Uitvoer Triwaq.
Bijlage E	Samenvatting van de uitwerking van de bodemmonsters.
Bijlage F	Gegevens over de plaats van de kam.
Bijlage G	Gegevens over de plaats van de zwaartelijnen.
Bijlage H1	Bodemhelling evenwijdig aan de zanddam.
Bijlage H2	Berekening golfinvloed.
Bijlage I	Hoogte en hoogteveranderingen van de top.
Bijlage J1	Lineaire benadering van de helling van de zanddam aan de zuidzijde.



Bijlage J2	Verloop van de helling aan de noordzijde voor 1991 tot en met 1995.
Bijlage J3	Hellingsverloop in de richting evenwijdig aan de as van de zanddam.
Bijlage K1	Kuberingen van alleen de zanddam en van de raaien over 1800 m.
Bijlage K2	Verband tussen de kuberingen van de zanddam en de dwarsdoorsnede over 1800 m.
Bijlage K3	Vakindeling van het lodingsgebied.
Bijlage K4	Vakken evenwijdig aan de zanddam.
Bijlage K5	Vakken loodrecht op de zanddam.
Bijlage L	Side-scan sonar opnames.
Bijlage M	Formules met betrekking tot golfgedreven transport.
Bijlage N	Toelichting cumulatieve verschilkubering = S.
Bijlage O	Voorbeelduitwerking benaderde S-curve: raai 4.
Bijlage P1	Toelichting zandtransportproces bij (a)symmetrie van de zanddam.
Bijlage P2	Grove benadering van de relatie symmetrie en zandtransport.
Bijlage P3	De zanddam op schaal.
Bijlage Q1	Relatie tussen $D_*$ en $\theta_c$ .
Bijlage Q2	Programmacode voor de berekening van S m.b.v het nieuwe model van Ribberink.
Bijlage R	Schematisatie dwarsdoorsneden van de raaien 4 en 20.
Bijlage S	Resultaten van de zandtransportberekeningen met het nieuwe model van Ribberink.
Bijlage T	Invloed model en parameters op zandtransportberekeningen uit de nota van Van Rijn.

## **HOOFDSTUK 1 Inleiding.**

### **1.1 Voorgeschiedenis.**

De laatste jaren wordt er steeds meer onderzoek gedaan naar de processen die zich langs de Nederlandse kust afspelen. In het kader van zo'n onderzoek is er in de jaren 1981 en 1982 voor de kust nabij Hoek van Holland een onderwater zanddam aangelegd door de Directie Noordzee (DNZ) van Rijkswaterstaat (RWS). Deze zanddam is bij benadering loodrecht op de overheersende getijstroomrichting aangelegd op een diepte die varieert van 15 m tot 23 m. Met behulp van de aanleg van deze onderwater zanddam wilde DNZ onderzoeken in hoeverre:

- een onderwater zanddam, welke bij benadering loodrecht op de overheersende getijstroomrichting ligt, stabiel is in de tijd;
- de onderwater zanddam effectief is als slibgeleiding voor het terugstromende slib vanaf Loswal Noord<sup>1</sup> naar de havenmond van Rotterdam;
- het mogelijk is om een "half-gesloten" locatie voor slibberging te creëren;
- de onderwater zanddam invloed heeft op het zandtransport over de onderwateroever;
- een onderwater zanddam overeenkomsten vertoont met het verschijnsel zandgolven.

Nadat de zanddam voor het grootste gedeelte was aangelegd, hebben in 1983 twee afstudeerders van de TU Delft een beschrijving gegeven van het te verwachten gedrag van de zanddam [Redeker en Kollen, 1983]. Tevens hebben zij aanbevelingen voor verder onderzoek gedaan. Na het afstudeerrapport van Redeker en Kollen is er bijna geen aandacht meer geschonken aan de zanddam, waardoor er tot op heden geen onderzoek is gedaan naar het gedrag van een zanddam loodrecht op de getijstroomrichting. Inmiddels zijn er meer lodinggegevens beschikbaar, waardoor het mogelijk is het onderzoek naar het gedrag van de zanddam te vervolgen.

### **1.2 Doel van het onderzoek.**

Het doel van dit afstudeerwerk is tweeledig:

- 1) Een indruk krijgen over de stabiliteit van zandlichamen (loodrecht op de getijstroomrichting) die zich onder het wateroppervlak bevinden. Deze stabiliteit is van belang voor:

---

<sup>1</sup> Loswal Noord fungeert als stortplaats voor het schone slib (milieuklasse I en II) uit de havenmond van Rotterdam.

- Off-shore activiteiten, zoals het creëren van een "half-gesloten" slibberging;
  - Onderzoek naar het mechanisme van zandgolven;
  - Zandtransport over de onderwateroever;
  - Kustuitbreiding.
- 2) Uit lodingen de zandtransporten bepalen en deze zandtransporten proberen na te rekenen met behulp van een zandtransportmodel.

### 1.3 Opzet van het onderzoek.

Dit afstudeerwerk kan in twee aparte gedeelten opgedeeld worden en wel:

- 1) Beschrijvende fase: aan de hand van lodingen van 1982 tot en met 1995 wordt een beschrijving gegeven van het gedrag van de zanddam. Nadat de analyse voltooid is, wordt een vergelijking gemaakt met de verwachte ontwikkelingen volgens Redeker en Kollen [1983].
- 2) Zandtransportberekeningen fase: aan de hand van de kuberingen, welke bepaald zijn in de beschrijvende fase, is een schatting gemaakt van het heersende zandtransport. Vervolgens zijn er analytische berekeningen gemaakt. Deze, via verschillende methoden, gevonden zandtransporten zijn met elkaar vergeleken. Ook zijn de bevindingen van Van Rijn [Van Rijn, 1995], opgesteld in het kader van Kustgenese, met de gevonden uitkomsten vergeleken.

De bovengenoemde fasen worden als volgt in dit rapport behandeld:

In hoofdstuk 2 wordt de situatie van de zanddam vanaf de aanleg beschreven en wordt door middel van een 3-D presentatie een duidelijke ruimtelijke weergave van de zanddam gegeven. Dit wordt vervolgd met een beschrijving van de gegevens in hoofdstuk 3. Deze gegevens zijn nodig voor het onderzoek naar het gedrag van de zanddam (hoofdstuk 4) en voor de zandtransportberekeningen (hoofdstuk 5). Ook wordt in hoofdstuk 3 het uitgevoerde bodemonderzoek gepresenteerd. In hoofdstuk 4 volgt de beschrijving van het gedrag van de onderwater zanddam en wordt aandacht besteed aan de functie van de zanddam als slibvang en -geleider. Tenslotte wordt in dit hoofdstuk een vergelijking gemaakt tussen de eigenschappen van de zanddam, die uit de beschrijving over 12,5 jaar zijn gevolgd, met de "voorspellingen" die in 1983 door Redeker en Kollen gedaan zijn. Hiermee wordt de eerste fase afgesloten.

De tweede fase (zandtransportberekeningen fase) bestaat uit hoofdstuk 5, waarin op verschillende manieren het zandtransport wordt bepaald. Deze gevonden zandtransporten worden vergeleken met de uitkomsten die volgen uit de nota van Van Rijn en het onderzoek dat uitgevoerd is voor de kust van Wijk aan Zee. Deze twee rapporten kunnen goed ter vergelijking worden gebruikt, omdat de berekende zandtransporten ongeveer op dezelfde diepte zijn bepaald. Tenslotte worden in hoofdstuk 6 conclusies getrokken en aanbevelingen gedaan.

## **HOOFDSTUK 2 Fenomenologische beschrijving van de zanddam.**

### **2.1 Inleiding.**

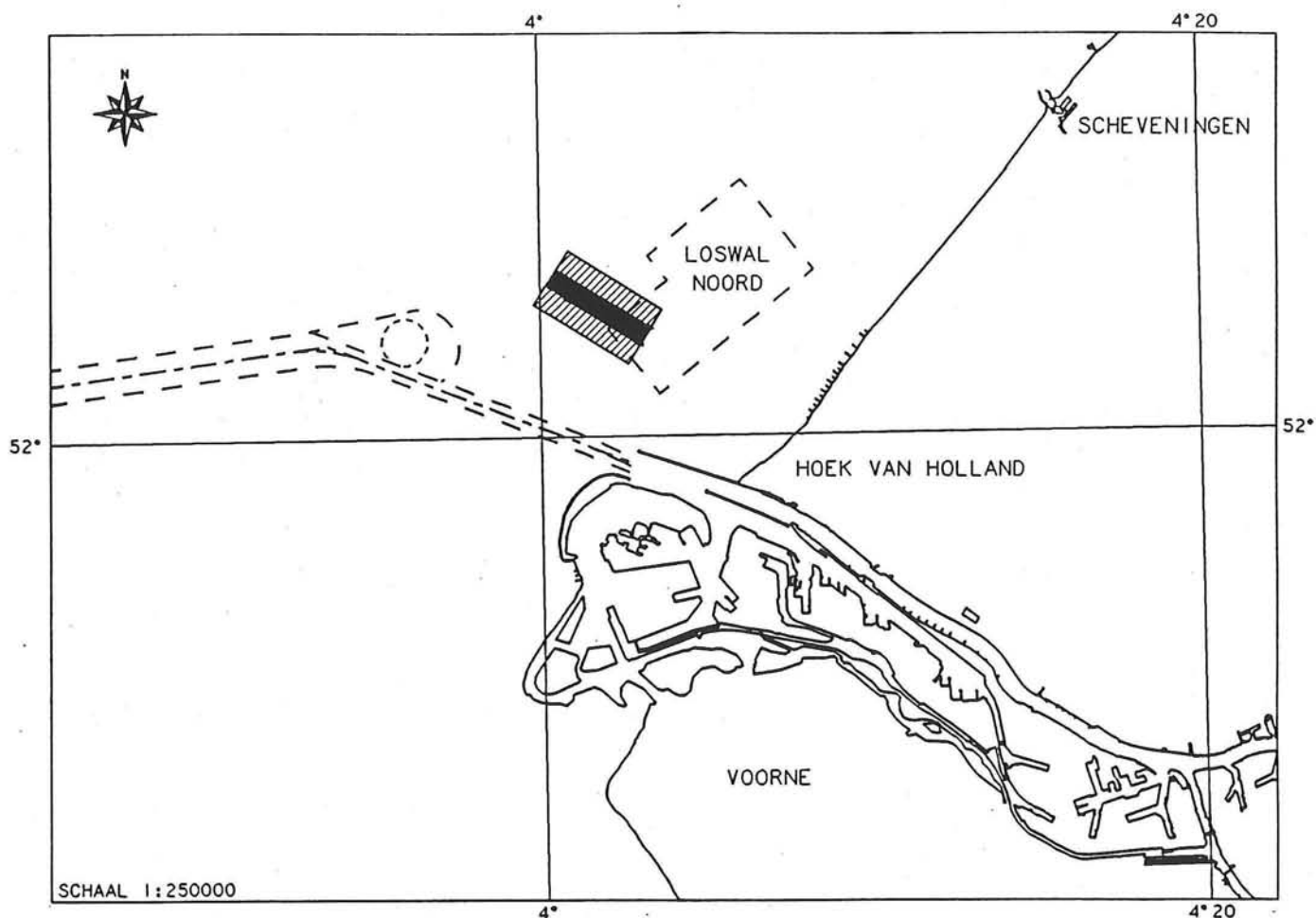
Dit hoofdstuk begint met het aangeven van de afmetingen van de zanddam in 1983 en het presenteren van een aantal belangrijke gegevens (paragraaf 2.2). Om een indruk te krijgen van de zanddam, zijn in paragraaf 2.3 enkele dwarsdoorsneden van de zanddam weergegeven. Een goed overzicht van de gehele zanddam kan worden verkregen door een 3-D presentatie van de zanddam. In deze 3-D presentatie komt de ligging van de zanddam in het lodingsgebied goed naar voren. De 3-D presentatie wordt in paragraaf 2.4 gegeven.

### **2.2 Situatiebeschrijving 1983.**

Zoals in de inleiding al is vermeld, is de onderwater zanddam voor het grootste deel in 1981 en 1982 aangelegd. De zanddam diende toen voor zandberging en zou na aanleg ook voor onderzoek gebruikt kunnen worden. De zanddam ligt nagenoeg loodrecht op de getijstroomrichting ten zuidwesten van Loswal Noord (zie figuur 2.1). De afmetingen van de zanddam net na de aanleg waren:

- lengte ongeveer 3600 m
- voetbreedte variërend tussen 250 en de 370 m
- hoogte variërend tussen 1,30 en 4,05 m
- helling variërend tussen de 1:19 en 1:95 voor het gedeelte van raai 4 tot en met raai 21 (de plaats van de raaien is in figuur 2.2 weergegeven). In de overige raaien is in 1981/1982 nauwelijks zand gestort.
- aanlegdiepte van de zanddam varieerde van 15 tot 23 m

Uit de metingen die destijds ter plaatse van meetpunt Indus West zijn verricht, is gevonden dat de hoofdrichtingen van de getijstrooming onder een hoek van ongeveer 70° met de as van de zanddam staan (dit geldt voor snelheden op 7,30 meter boven de bodem). Dit iets asymmetrische getij heeft een reststroom in noordelijke richting. De maximale stroomsnelheden zijn 0,85 m/s gemiddeld over de verticaal. Dit zijn dus niet de snelheden bij de bodem. Het gestorte zand, waar de zanddam uit opgebouwd is, bestaat uit zand met een  $D_{50}$  van 225  $\mu\text{m}$  en een  $D_{90}$  van 600  $\mu\text{m}$ . Voor de Chézy-coëfficiënt (C) is de waarde 63  $\text{m}^{1/2}/\text{s}$  berekend. Bij de zandtransportberekeningen die door Redeker en Kollen in 1983 gemaakt zijn, is gerekend met een golfhoogte van 1,5 m. Deze golfhoogte wordt drie maanden per jaar overschreden.

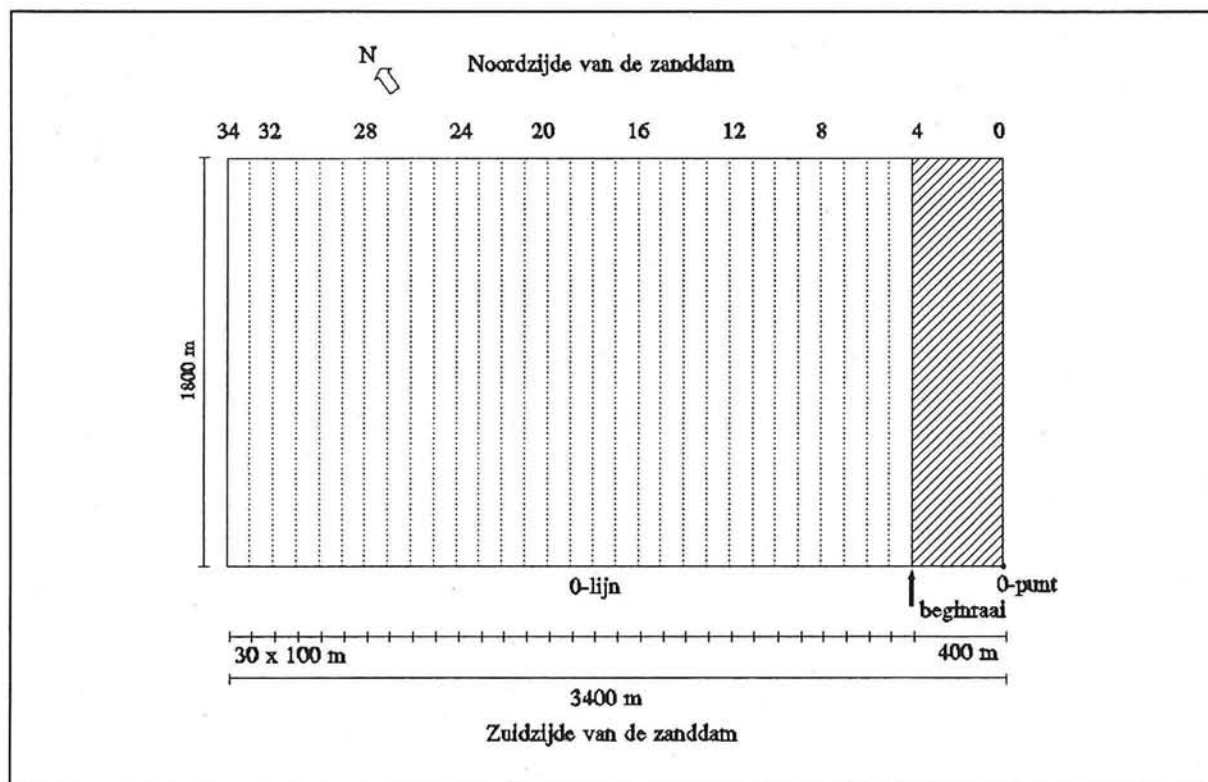


Figuur 2.1 Positie van de onderwater zanddam<sup>2</sup>.

Om het gedrag van de zanddam te analyseren, wordt het lodingsgebied van de zanddam opgedeeld in raaien om de 100 meter. De raai-indeling, die tijdens de analyse van het gedrag van de zanddam wordt gebruikt (hoofdstuk 4), begint bij raai 4 en eindigt bij raai 34. Er is gekozen om de analyse bij raai 4 te beginnen, omdat bij een aantal lodingen de raaien 0 tot en met 3 ontbreken. De doorsneden worden opgegeven ten opzichte van een 0-punt (zie figuur 2.2).

<sup>2</sup> Het gearceerde gedeelte is het lodingsgebied van de zanddam. Hierin ligt de zanddam (zwarte gedeelte) met de as parallel lopend aan de lange zijde van het lodingsgebied.

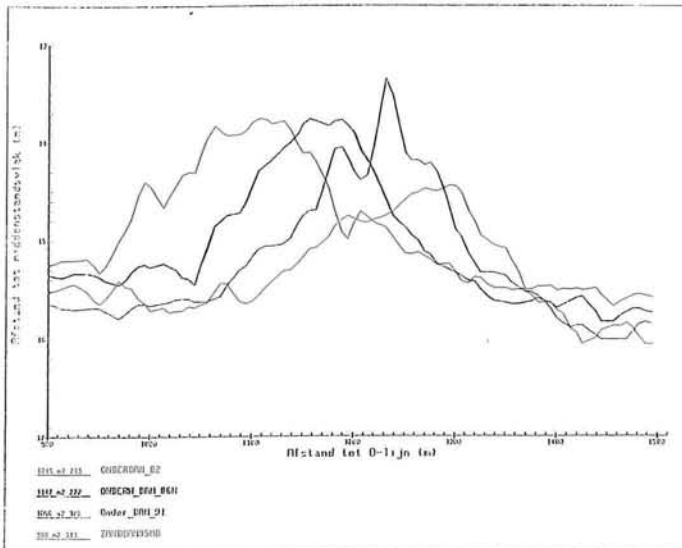
Raai 4 bevindt zich 400 m uit het 0-punt en staat loodrecht op de as van de zanddam, raai 5 bevindt zich 500 m uit het 0-punt etc.



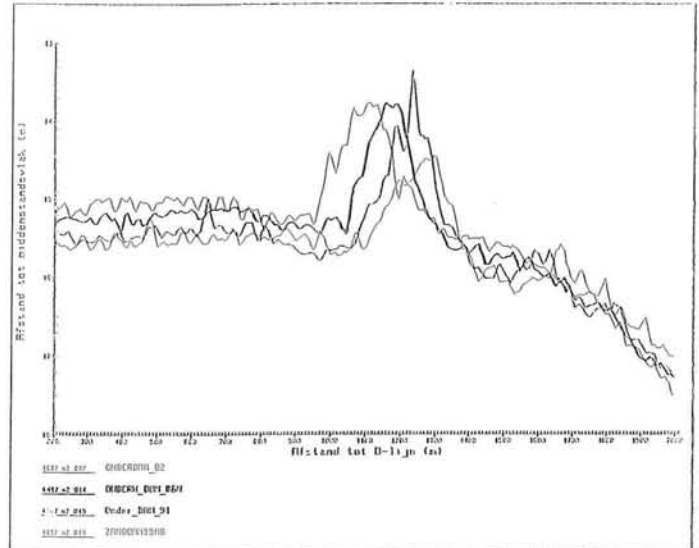
Figuur 2.2 Opdeling van het lodingsgebied in raaien.

### 2.3 Dwarsdoorsneden van de zanddam.

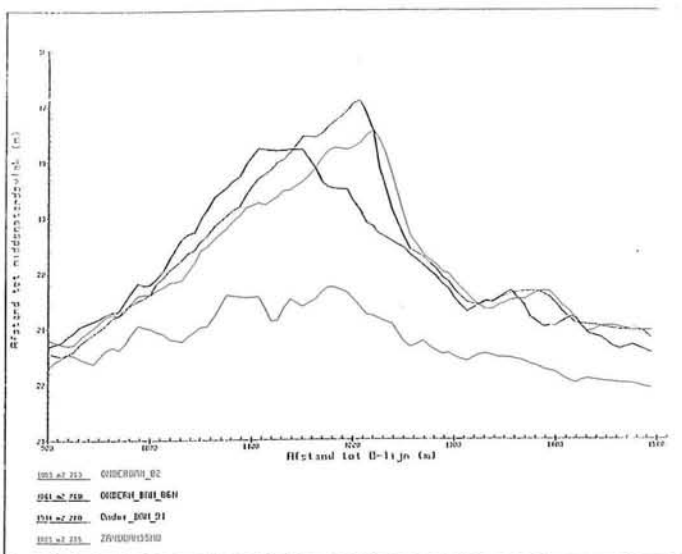
Voorafgaand aan de 3-D presentatie, die in paragraaf 2.4 wordt gegeven, worden in deze paragraaf een aantal dwarsdoorsneden getoond. In figuur 2.3 worden de dwarsdoorsneden weergegeven van de raaien 4 en 28 (alleen de zanddam en de doorsnede over 1800 m) om een eerste indruk van de zanddam te krijgen. De ligging van de raaien 4 en 28 is in figuur 2.2 aangegeven. Dit zijn de doorsneden die met behulp van het computerprogramma Samenstellen Informatie Boordsysteem (SIB) tot stand zijn gekomen. In de vorm zoals de dwarsdoorsneden in figuur 2.3 gepresenteerd zijn, zullen ze gedurende dit onderzoek gebruikt worden.



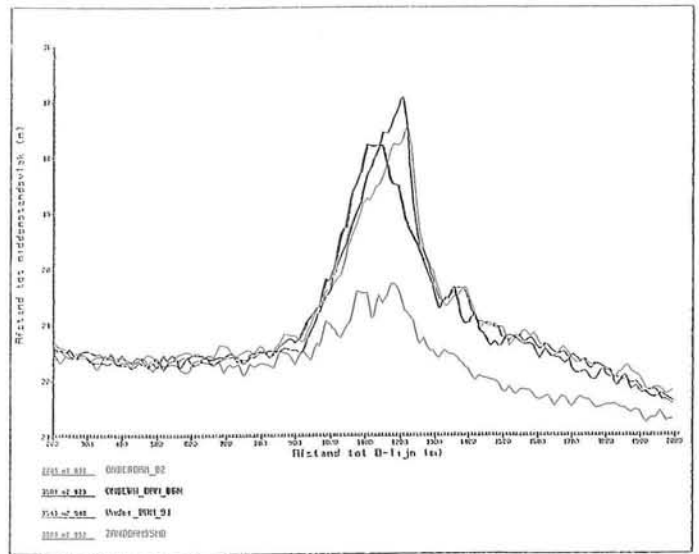
DWARSDOORSNEDE VAN DE ZANDDAM : RAAI 4



DWARSDOORSNEDE OVER 1000 M : RAAI 4



DWARSDOORSNEDE VAN DE ZANDDAM : RAAI 20

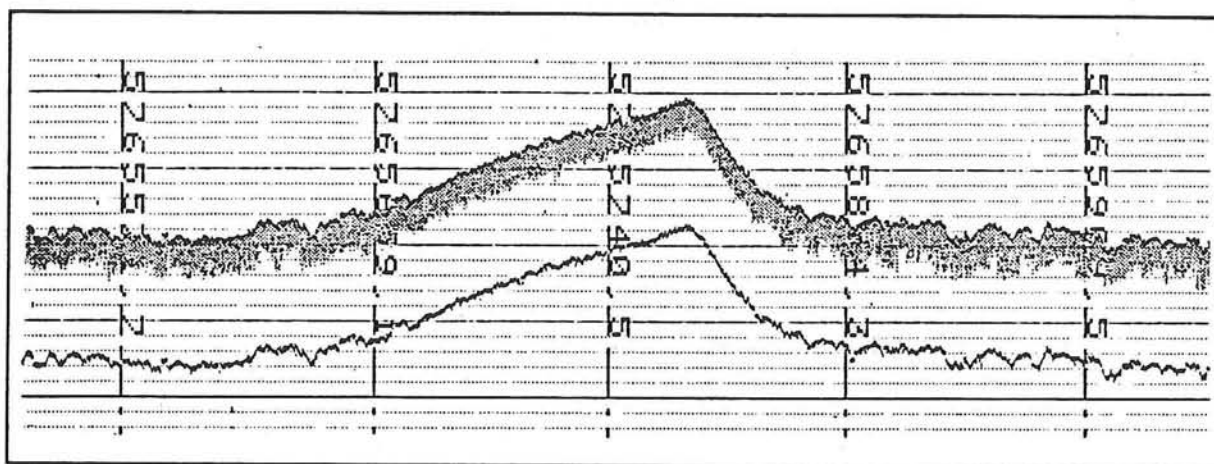


DWARSDOORSNEDE OVER 1000 M : RAAI 20

Figuur 2.3 Dwarsdoorsneden van de zanddam over 1800 m en 600 m.

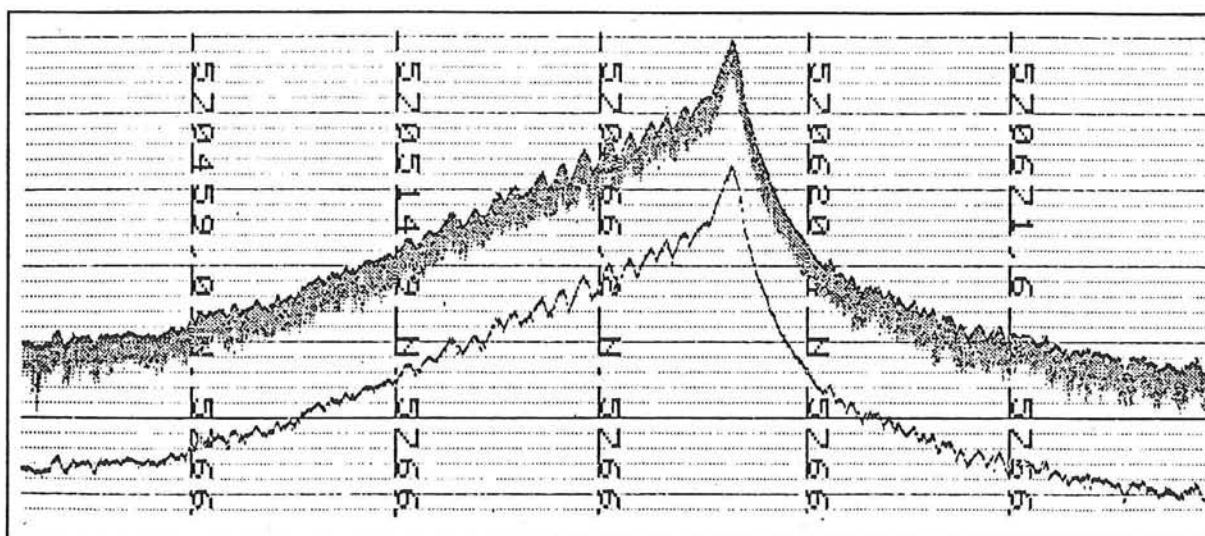
Tijdens dit onderzoek is een extra lading uitgevoerd in het kader van het gebruik van verschillende meetsystemen. De uitwerking van deze extra lading wordt in paragraaf 3.3 behandeld. Deze extra lading is in de richting loodrecht op de zanddam opgenomen, waardoor de zanddam goed is waar te nemen op de echoloodrol.

Op een echoloodrol wordt tijdens de uitvoering van de loding de diepte direct grafisch weergegeven. Op de echoloodrol zijn ribbels op de zuidflank van de zanddam zichtbaar. Deze ribbels hebben een hoogte die varieert tussen de 2 en 5 dm en hebben een golflengte van ongeveer 10 m. Deze afmetingen wijzen erop dat de ribbels, die zich op de zanddam bevinden, tot de megaribbels behoren. In het vervolg van dit onderzoek zullen deze ribbels dan ook megaribbels worden genoemd. De megaribbels zijn niet te zien in de dwarsdoorsneden die in figuur 2.3 zijn weergegeven. Dit komt door de verwerking van de lodinggevens. De gemeten diepten worden namelijk verwerkt tot één representatieve minimum diepte per vak van  $12,5 \times 12,5 \text{ m}^2$ . Doordat de afmetingen van de megaribbels kleiner zijn dan de afmetingen van een vakje van  $12,5 \times 12,5 \text{ m}^2$ , worden de megaribbels uit de dwarsdoorsnede gefilterd. Het is daarom zinvol om ook een aantal doorsneden van de zanddam te presenteren, die niet bewerkt zijn. In figuur 2.4 a, b en c zijn dwarsdoorsneden weergegeven van respectievelijk raaien 11, 19 en 29.

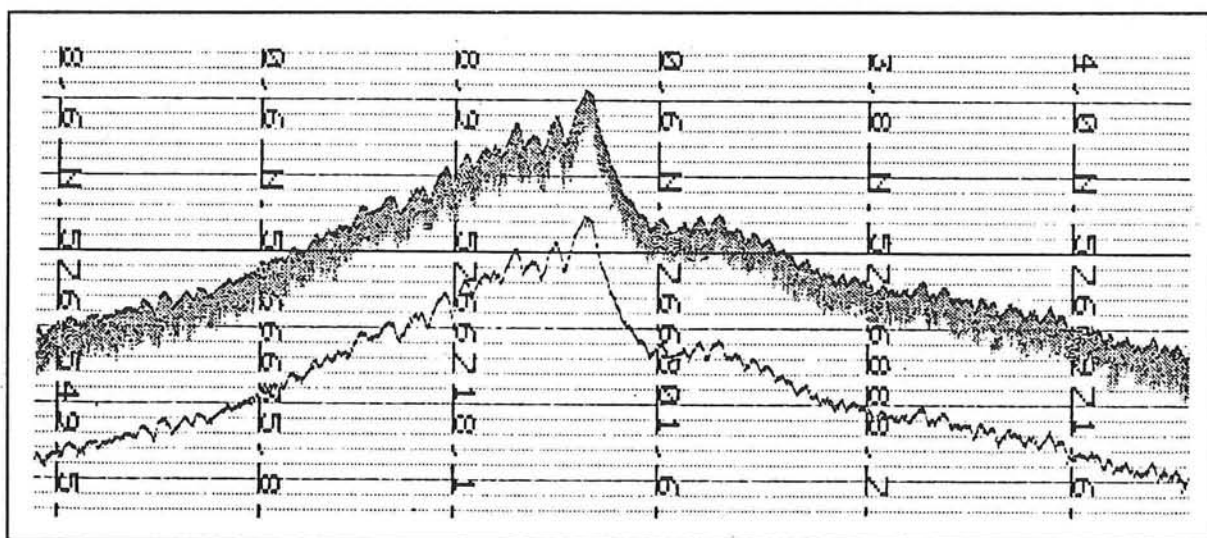


Figuur 2.4a Dwarsdoorsnede van de zanddam raai 11.





Figuur 2.4b Dwarsdoorsnede van de zanddam raai 19.

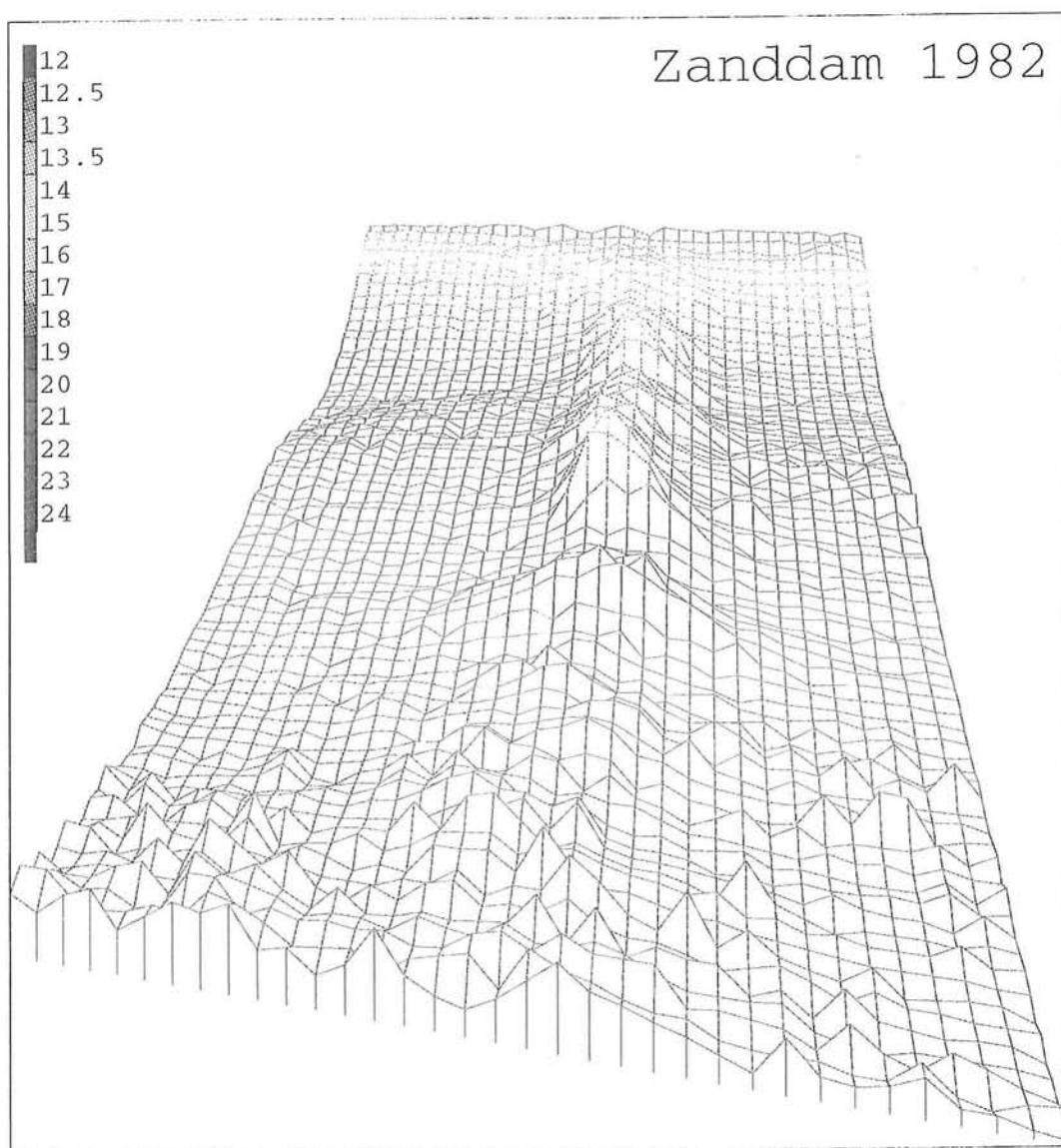


Figuur 2.4c Dwarsdoorsnede van de zanddam raai 29.

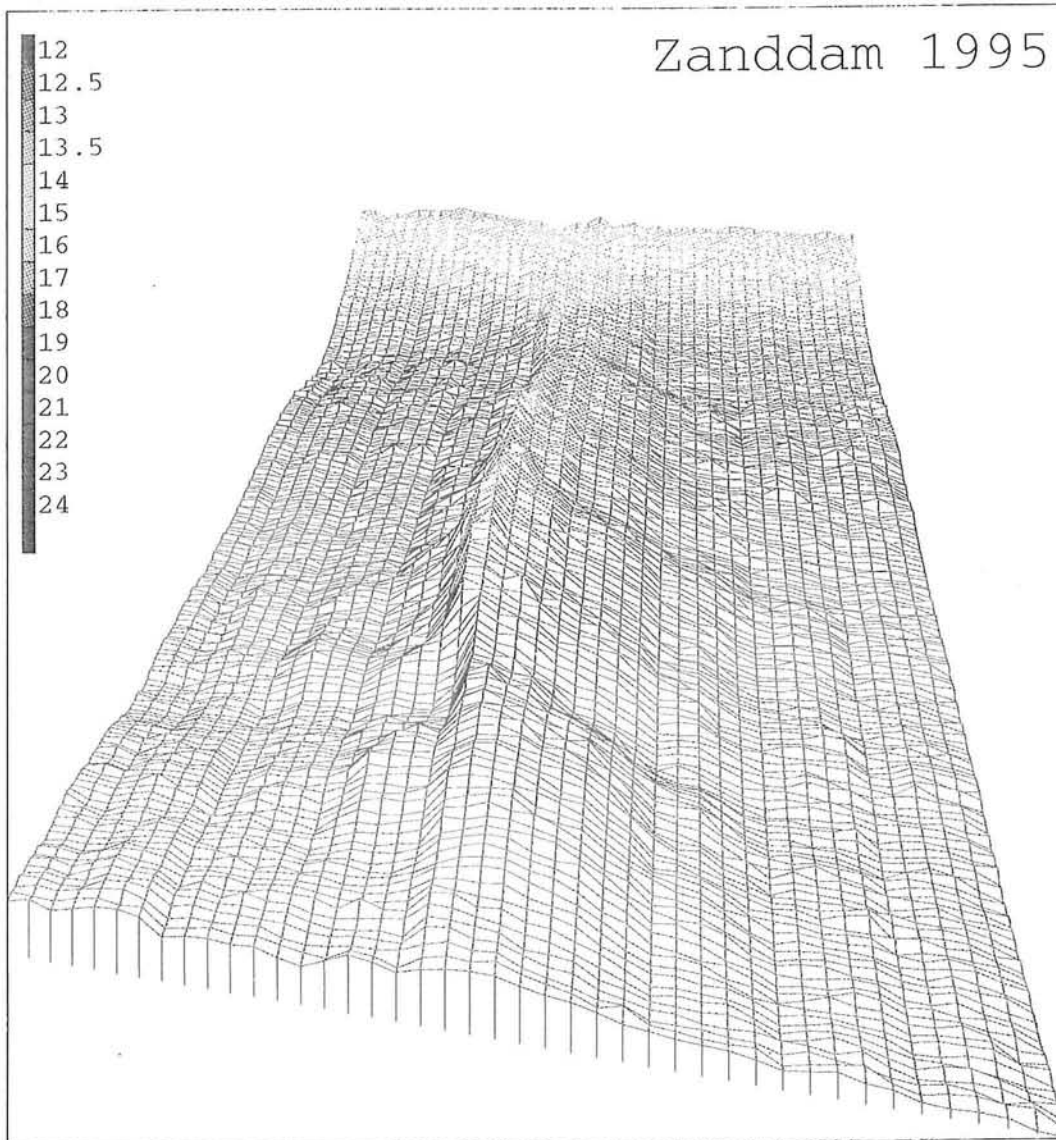
#### 2.4 3-D presentatie van de zanddam.

Om een goed overzicht van de hele zanddam te bereiken, zijn 3-D plaatjes geschikt. Door de lengte van de zanddam is het niet goed mogelijk om de relatief kleine veranderingen van de zanddam in de 3-D tekeningen te zien.

Vandaar dat de 3-D plaatjes niet voor het onderzoek gebruikt worden, maar alleen ter illustratie dienen om een goede voorstelling van de zanddam te realiseren. In figuur 2.5 a en b zijn respectievelijk de 3-D afbeeldingen van de jaren 1982 en 1995 weergegeven. In bijlage A zijn de 3-D plaatjes van de lodingsjaren 1986 en 1991 ook weergegeven. Tevens zijn van alle lodingsjaren 3-D presentaties gegeven waarin alleen de zuidzijde of alleen de noordzijde van de zanddam op de voorgrond treedt. Door een dergelijke weergave is de afvlakking c.q. versteiling en zijn de bijstortingen duidelijk waar te nemen.



Figuur 2.5a 3-D presentatie van 1982.



Figuur 2.5b 3-D presentatie van 1995.

Uit de 3-D figuren (figuur 2.5 a en b en de figuren uit bijlage A) is duidelijk op te maken dat vooral in het westelijke deel van de zanddam is bijgestort. Ook is een versteiling van de helling aan de noordzijde van de zanddam duidelijk waar te nemen, evenals het flauwer worden van de helling aan de zuidzijde van de zanddam. De asymmetrie van de zanddam neemt dus toe in de tijd. Deze waarnemingen worden in paragraaf 4.6 verder beschreven.

## **HOOFDSTUK 3 Benodigde gegevens voor het onderzoek.**

### **3.1 Inleiding.**

Voor het onderzoek zijn verschillende gegevens van belang. Voor het analyseren van het gedrag van de zanddam over de afgelopen 12,5 jaar zijn lodingkaarten van het gebied rond de zanddam onmisbaar. In paragraaf 3.2 wordt een opsomming gegeven van de beschikbare lodingkaarten. Deze lodingkaarten kunnen op een HP-computer worden ingelezen als ze op tape staan. Met behulp van het programma SIB kunnen doorsneden getekend worden en kuberingen gemaakt worden. In de periode 1982 tot en met 1986 zijn er bijstortingen verricht op de zanddam. Met betrekking tot de kuberingen is het van belang om de gestorte hoeveelheden te weten. De posities van de stortingen zijn helaas niet meer te achterhalen. In paragraaf 3.3 zal aandacht besteed worden aan de nauwkeurigheid van de lodingen. De stortgegevens worden in paragraaf 3.4 gegeven. Voor het vervolg van het onderzoek zijn gegevens over wind en golven (paragraaf 3.5) en getijstromingen (paragraaf 3.6) ook van belang. In paragraaf 3.7 zullen de bodemgegevens van het gebied worden besproken. In paragraaf 3.8 wordt nagegaan in hoeverre de uitstroom van de Rijn invloed heeft op het gebied waarin de zanddam ligt. Tenslotte wordt in paragraaf 3.9 het gedrag van zandgolven kort beschreven.

### **3.2 Lodingkaarten.**

Naast de functie als zandberging is de zanddam ook voor onderzoek aangelegd. Redeker en Kollen hebben in hun afstudeerverslag een aantal adviezen gegeven met betrekking tot de voortzetting van het onderzoek naar het gedrag van de zanddam. Zij adviseerden om twee maal per jaar een loding te verrichten, na het zomerseizoen en na het winterseizoen, zodat de invloed van de verschillende seizoenen op de stabiliteit van de zanddam kan worden waargenomen. Dit advies is echter niet opgevolgd.

Tot op heden zijn er negen lodingen van de zanddam beschikbaar over de periode 1982 tot en met 1995. De opnamedata van de lodingen, de methode van opnemen en het schip waarmee de lodingen zijn opgenomen, zijn in tabel 3.1 vermeld. Voor de jaren 1982 tot en met 1986 is het niet bekend welk schip de loding heeft uitgevoerd. Aangezien de lodingen van vóór 1991 niet meer op tape beschikbaar zijn, maar wel op een lodingkaart of micro-film, zijn deze alsnog gedigitaliseerd. Verder zijn er nog twee lodingen van Loswal Noord uit ontbrekende jaren gebruikt (1989 en 1990). De zanddam staat hier echter niet in zijn geheel op. Deze twee lodingen worden wel in de analyse meegenomen voor wat het bruikbare gedeelte betreft.

Het systeem waarmee de loding opgenomen wordt, is van groot belang. Dit wordt in de volgende paragraaf verder toegelicht. Ook kan het schip waarmee de loding is opgenomen, invloed hebben op het uiteindelijke resultaat. Dit heeft onder andere te maken met het afstellen van golfcompensatoren en het ijken van de opname-apparatuur.

loding	dag en maand	jaar	Opname systeem	Schip
1	8 en 9 september	1982	single-beam	onbekend
2	16, 17 en 18 februari	1983	single-beam	onbekend
3	4, 5, 10, 11 en 14 juni	1985	single-beam	onbekend
4	12 en 23 december 25 en 26 februari	1985 1986	single-beam	onbekend
5	14, 15 en 18 maart	1991	multi-beam	Octans
6	9, 10 16 en 17 april	1992	multi-beam	Octans
7	5, 8 en 9 maart	1993	multi-beam	Octans
8	22 en 29 april en 2 mei	1994	multi-beam	Octans
9	1,2,3 en 4 mei	1995	multi-beam	Octans

Tabel 3.1 Gegevens over de uitgevoerde lodingen in de periode 1982 tot en met 1995.

### 3.3 Nauwkeurigheid van de lodingen.

#### 3.3.1 Inleiding.

De nauwkeurigheid van de lodingen is van belang voor het onderzoek. Het betreft in dit geval niet alleen de nauwkeurigheid van de lodingen zelf (de absolute nauwkeurigheid), maar vooral de nauwkeurigheid tussen de lodingen onderling, omdat zij met elkaar vergeleken worden. Dit wordt ook wel de herhaalbaarheid (repeatability) genoemd. In subparagraaf 3.3.2 wordt nader op deze herhaalbaarheid ingegaan. Naast de herhaalbaarheid speelt de methode van loden ook een belangrijke rol. Hierop wordt in subparagraaf 3.3.3 ingegaan.

#### 3.3.2 Herhaalbaarheid.

De herhaalbaarheid wordt beïnvloed door verschillende factoren, zoals:

- schip waarmee de loding uitgevoerd wordt,
- snelheid waarmee het schip vaart tijdens het uitvoeren van de loding,
- deining,
- meteorologische omstandigheden,
- zeegang,
- plaatsbepaling.

De nauwkeurigheid (en dus de herhaalbaarheid) is opgebouwd uit twee afzonderlijke nauwkeurigheden, namelijk de stochastische- en de systematische nauwkeurigheid. De globale berekening is in bijlage B1 gegeven en levert de volgende herhaalbaarheid op:

Single-beam  $\Rightarrow$  gemeten diepten  $\pm 1,15$  dm

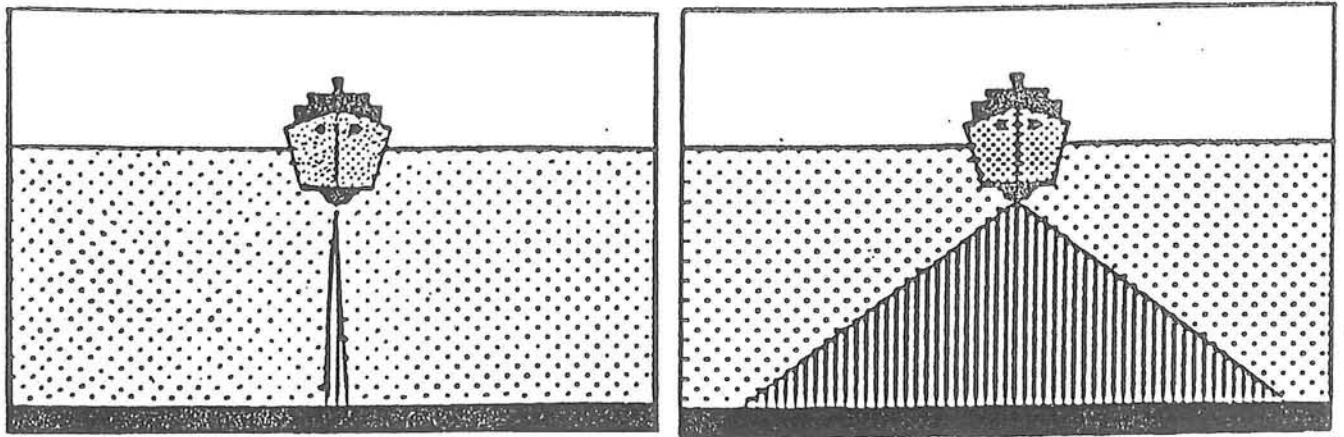
Multi-beam  $\Rightarrow$  gemeten diepten  $\pm 1,03$  dm

De herhaalbaarheid heeft betrekking op de verticale nauwkeurigheid van de lodingen. Naast de verticale nauwkeurigheid, kan de horizontale nauwkeurigheid ook van belang zijn voor de analyse van het gedrag van de zanddam. De verticale nauwkeurigheid ligt in de orde van decimeters, terwijl de horizontale nauwkeurigheid in de orde van meters ligt. De horizontale nauwkeurigheid tijdens het loden is goed geweest. Dit blijkt uit de gegevens van de dwarsdoorsneden die tijdens de beschrijving van het gedrag van de zanddam (hoofdstuk 4) zijn gebruikt. De zanddam is namelijk in het diepere gedeelte op zijn plaats blijven liggen in tegenstelling tot het ondiepere gedeelte (zie paragraaf 4.4). Met de horizontale nauwkeurigheid had rekening gehouden moeten worden als de zanddam over zijn gehele langsdoorsnede verschoven zou zijn.

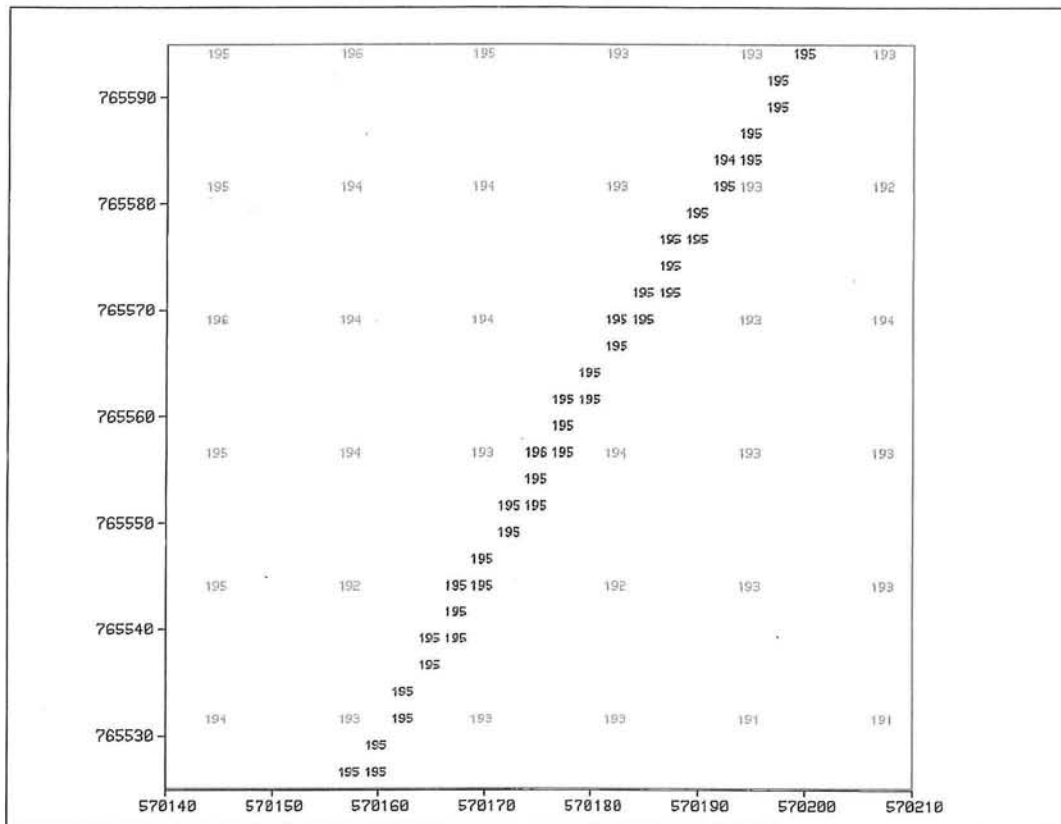
### **3.3.3 Single- en multi-beam opname**

Zoals in de inleiding van deze paragraaf al is vermeld, speelt de methode van loden ook een belangrijke rol. In 1991 is de meetdienst van DNZ van het single-beam systeem overgeschakeld op het multi-beam systeem. In figuur 3.1 zijn de principes van de beide methoden weergegeven. Het single-beam systeem registreert alleen de diepte onder het schip, dus de diepten van de raaien die gevaren worden zijn bekend. De raai-afstand tijdens de lodingopname in het onderzoeksgebied is 50 m. Tijdens de verwerking wordt er één representatieve minimum diepte bepaald voor een lijnstuk van 12,5 m. Het multi-beam systeem registreert de diepten over een breedte van 4 à 5 maal de waterdiepte onder de transducer. Hierdoor zijn de diepten tussen de gevaren raaien ook bekend. De diepten die zijn opgenomen met het multi-beam systeem worden verwerkt tot één representatieve diepte per vak van  $12,5 \times 12,5$  m<sup>2</sup>. Het multi-beam systeem geeft dus een meer gedetailleerde bodemtopografie weer (zie figuur 3.2). Wanneer de gegevens worden gebruikt om doorsneden te tekenen, zal in de gebieden waar geen diepten bekend zijn, een lineaire interpolatie worden toegepast.

Het multi-beam systeem registreert dus veel meer diepten, waar desgewenst het gemiddelde of het minimum van genomen wordt, dan het single-beam systeem. In de praktijk wordt met minimum diepten gewerkt. Zo ook tijdens het onderzoek naar het gedrag van de zanddam in de afgelopen 12,5 jaar. Uit de ervaring is gebleken dat, wanneer met minimum diepten wordt gewerkt, het multi-beam systeem over het algemeen "drogere" lodingkaarten geeft dan het single-beam systeem. Het verschil tussen de diepten dat ontstaat, wanneer met het single-beam systeem en met het multi-beam systeem wordt gelood, wordt in het vervolg diepteverschil genoemd. Met dit diepteverschil moet dus zeker rekening gehouden worden.



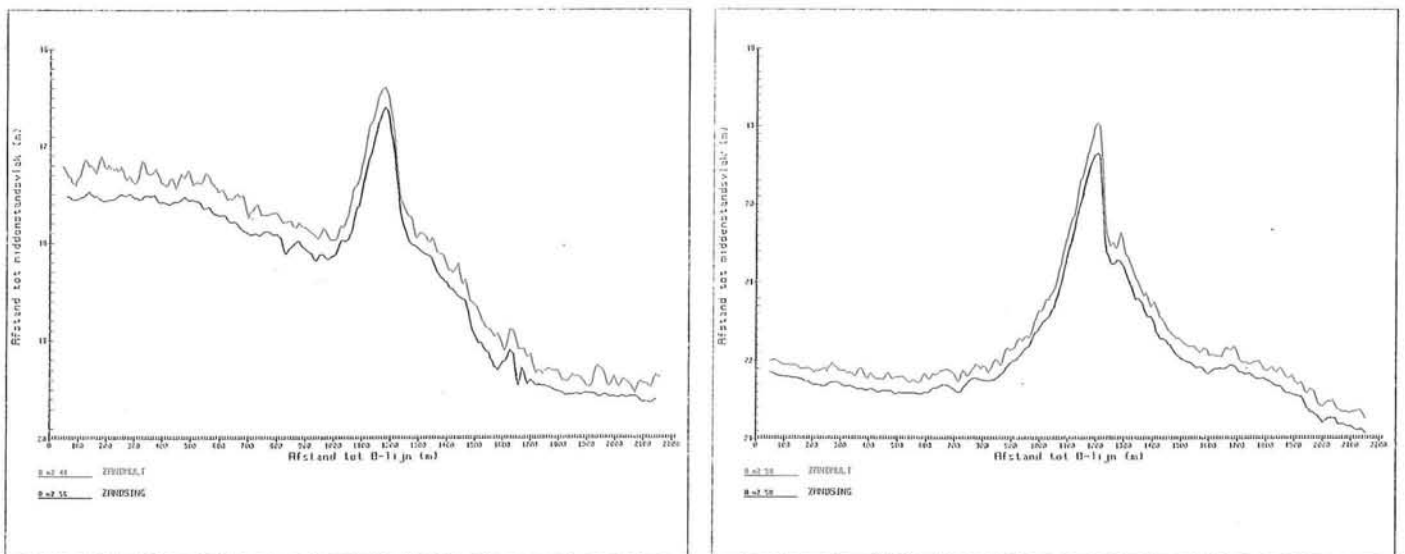
Figuur 3.1 Principe van het single-beam systeem (links) en het multi-beam systeem (rechts).



Figuur 3.2 Weergave van de diepten op een lodingkaart van een single- (paars) en multi-beam (licht blauw) opname.

De diepteverschillen tussen de twee opnamesystemen hebben vooral effect op de kubering en de verandering van de hoogte in de tijd. Wanneer een single-beam loding met een multi-beam loding wordt vergeleken, is het van belang te weten wat de grootte is van deze diepteverschillen. Om deze grootte te kunnen bepalen, is op 11 en 12 september 1995 een extra loding van 17 raaien uitgevoerd met zowel het single-beam systeem als de multi-beam systeem. Beide systemen kunnen tegelijkertijd operationeel zijn.

Uit deze extra uitgevoerde loding is gebleken dat in het onderzoeksgebied het multi-beam systeem 2 dm droger loodt. De gevaren raaien en de uitwerking van de berekening van deze systematische ophoging zijn in bijlage B2 gegeven. In figuur 3.3 zijn twee doorsneden gegeven, waarin het verschil tussen de single- en de multi-beam opname duidelijk te zien is. Deze doorsneden zijn gebaseerd op de loding die op 11 en 12 september 1995 is uitgevoerd (rood = multi-beam, blauw = single-beam).



RAAI 10 SINGLE- EN MULTI-BEAM OPNAME 11 SEPTEMBER 1995

RAAI 30 SINGLE- EN MULTI-BEAM OPNAME

Figuur 3.3 Dwarsdoorsneden van de zanddam van de raaien 10 en 30 (single- en multi-beam in één dwarsdoorsnede).

Het verschil van 2 dm tussen het single- en het multi-beam systeem is representatief voor het hele lodingsgebied (zie bijlage B2). Daarom zullen de lodingen die vóór 1991 zijn uitgevoerd met 2 dm opgehoogd worden. Na deze aanpassing kan een betere vergelijking gemaakt worden tussen de single- en de multi-beam lodingen.



### 3.4 Stortgegevens.

In de periode van 1981 tot en met 1986 is er regelmatig zand op de zanddam bijgestort. De posities van de stortingen op de zanddam zijn niet te achterhalen. Wel zijn er gegevens beschikbaar over de hoeveelheden die zijn bijgestort en de datum waarop deze stortingen zijn uitgevoerd. Een opsomming van de gestorte hoeveelheden in de betreffende periode volgt hieronder:

- 1) Tot de loding van september 1982 : 1.664.175 m<sup>3</sup> (oorspronkelijke storting)
- 2) Tot de loding van februari 1983 : 234.746 m<sup>3</sup>
- 3) Tot de loding van juni 1985 : 537.429 m<sup>3</sup>
- 4) Tot de loding van februari 1986 : 457.035 m<sup>3</sup>
- 5) In 1986 : 496.525 m<sup>3</sup>

Dit betekent dat er in de loop der jaren ongeveer 3,5 miljoen m<sup>3</sup> zand is gestort. Uit de kuberingen die in paragraaf 4.7 worden gemaakt volgt dat de inhoud van de zanddam in 1991 ongeveer 3 miljoen m<sup>3</sup> is en in 1995 2,9 miljoen m<sup>3</sup>. Deze waarden zijn waarschijnlijk overschat als gevolg van de methode die toegepast is om de kuberingen te berekenen.

Doordat de posities van de bijstortingen niet precies bekend zijn, zijn de veranderingen van de zanddam tussen de jaren 1982, 1983, 1985, 1986 en 1989 niet voor de gehele zanddam bruikbaar voor de analyse. Uit de dwarsprofielen van de verschillende jaren van de zanddam is wel af te leiden waar er waarschijnlijk gestort is, zodat er grenzen gelegd kunnen worden wat betreft de bruikbare gedeelten van de lodingkaarten. In paragraaf 4.1 worden de bruikbare gedeelten aangegeven.

Tijdens het storten treedt er radiale verspreiding op van het zand en kan het zand als gevolg van de stroomsnelheden verplaatst worden. De verspreiding van baggerspecie (zand/slib-mengsels) is door Van Heuvel onderzocht ter plaatse van de Loswal Noord [Van Heuvel, 1988]. De resultaten die uit het onderzoek van Van Heuvel volgen, kunnen dus representatief geacht worden voor de stortingen die verricht zijn ter plaatse van de zanddam. Uit het onderzoek van Van Heuvel is gebleken dat het verspreidingsgebied van slib tot ongeveer 600 meter uit de stortlocatie beperkt blijft. Aangezien de eigenschappen van slib in suspensie verschillen met die van zand (zand is zwaarder en zal daarom minder ver meegevoerd worden met de stroming), zal het verspreidingsgebied van zand bij storten kleiner zijn dan dat van slib. Het lodingsgebied van de onderwater zanddam heeft een breedte van 2200 m; de zanddam bevindt zich in het midden van dit gebied. In de richting dwars op de zanddam zal dus vrijwel geen stortverlies optreden. In de richting evenwijdig aan de as van de zanddam kan in principe alleen stortverlies optreden als aan het einde van de zanddam (raai 36) wordt gestort. Deze raai valt echter buiten het onderzoek naar het gedrag van de zanddam.

Het stortverlies uit het lodingsgebied kan dus bij benadering gelijk aan 0 gesteld worden.

### **3.5 Wind- en golfgegevens.**

#### **3.5.1 Inleiding.**

De golfgegevens zijn nodig voor de zandtransportberekeningen die in hoofdstuk 5 worden behandeld en de windgegevens zijn vooral van belang voor eventuele verklaringen voor afwijkend gedrag van de zanddam in een bepaald jaar. Voor zowel de golfgegevens als de windgegevens is gebruik gemaakt van de metingen verricht bij Lichteiland Goeree (LEG) [Roskam, 1985 en 1988]. Naast de golfgegevens van Roskam, zijn ter vergelijking visuele metingen van LEG uit de periode 1951 tot en met 1960 [Redeker en Kollen, 1983] gebruikt. Eerst zullen in subparagraaf 3.5.2. de windeffecten beschreven worden en windgegevens gegeven worden. Vervolgens wordt in subparagraaf 3.5.3 het golfklimaat beschreven.

#### **3.5.2 Windgegevens.**

In paragraaf 4.5 zal blijken dat de hoogteveranderingen van de zanddam niet goed te verklaren zijn. De variaties in de hoogteveranderingen van de top van de zanddam kunnen onder andere afhankelijk zijn van windomstandigheden die tijdens een bepaald lodingsinterval zijn voorgekomen.

Uit een onderzoek dat door Borst in het kustvak Delfland is uitgevoerd [Borst, 1987], blijkt dat een zuidwesten wind van 13 m/s (windkracht 6 à 7) die 2 à 3 dagen aanhoudt voor een reductie van 30 cm/s in de ebstroom en een verhoging van 25 cm/s van de vloedstroom kan zorgen. De wind heeft echter alleen een verschuiving van de stroomroos tot gevolg. Het absolute verschil tussen de maximale eb- en vloedstroom verandert nauwelijks. Deze verschuiving van de stroomroos kan voor aanzienlijke veranderingen in het zandtransport zorgen. Het is daarom van belang om niet de gemiddelde jaarlijks voorkomende windomstandigheden te verzamelen, maar de stormen met snelheden die groter zijn dan 13 m/s. De grens wordt bij 13 m/s gelegd, omdat deze grens uit het onderzoek van Borst is gevolgd. Per storm is de overheersende windrichting en de duur van de storm van belang. De windgegevens zijn in bijlage C1 opgenomen.

#### **3.5.3 Golfgegevens.**

Voor de zandtransportberekeningen zijn gegevens over golven van belang. Om een eerste indruk te krijgen over het voorkomen van zandtransport als gevolg van de orbitaalbeweging van golven, wordt gebruik gemaakt van een significante golfhoogte. Deze  $H_{sig}$  is de geschatte significante golfhoogte uit het energiedichtheidsspectrum. Door Roskam is voor verschillende richtingssectoren een representatieve  $H_{sig}$  met bijbehorende golfperiode ( $T_{m01}$  de uit het energiedichtheidsspectrum geschatte gemiddelde golfperiode) berekend. De definitie van deze representatieve  $H_{sig}$  is in bijlage C2 opgenomen. In tabel 3.2 staan de  $H_{sig}$  per richtingssector vermeld. Voor de berekeningen die in paragraaf 4.4 en hoofdstuk 5 zullen worden uitgevoerd, zijn de golfhoogten met bijbehorende golfperiode van belang. Voor de richting van de golven speelt de windrichting een belangrijke rol. Voor dit onderzoek wordt de richting van de wind representatief verondersteld voor de richting van de golven.

windrichting (°)	225-255	255-285	285-315	315-345	345-15	15-225
$H_{sig}$ (m)	1,56	1,88	1,86	1,76	1,46	1,14
$T_{m01}$ (s)	5,07	5,47	5,56	5,47	5,25	niet bepaald
percentage van totaal (%)	15,05	9,90	7,66	6,51	6,47	54,40

Tabel 3.2  $H_{sig}$  met bijbehorende  $T_{m01}$  voor verschillende richtingssectoren.

In bijlage C2 zijn verschillende tabellen opgenomen met daarin het verband tussen de golfhoogte, windrichting en golfperiode. Ook zijn in bijlage C2 de definities van de gebruikte  $H_{sig}$  en  $T_{m01}$  vermeld.

### 3.6 Getijstroomgegevens.

#### 3.6.1 Inleiding.

De stroming als gevolg van het getij is op twee manieren te bepalen. Ten eerste zijn er meetgegevens beschikbaar (subparagraaf 3.6.3). Daar deze meetpunten niet alle in het gebied van de zanddam zelf liggen, kunnen er grote verschillen optreden, vooral omdat in het gebied van de Loswal Noord complexe stromingspatronen voorkomen (zie bijlage D2). De tweede methode om de getijstroomsnelheden te bepalen voor het lodingsgebied van de zanddam, is een berekening met het 3-D model Triwaq. Triwaq heeft het voordeel dat het mogelijk is om getijstroomsnelheden in gewenste punten op te vragen, waardoor de getijstroomsnelheden ter plaatse van de zanddam beschikbaar zijn (subparagraaf 3.6.2).

#### 3.6.2 Triwaq.

Met behulp van het 3-D model Triwaq kunnen de getijstroomsnelheden worden berekend ter plaatse van de zanddam. Waarschijnlijk ontstaat er op deze manier een beter beeld van de getijstroomsnelheden en reststromen ter plaatse van de zanddam dan wanneer de getijstroomsnelheden uit de metingen worden gebruikt. Triwaq is immers op meetgegevens afgeregeld. Wel moet vermeld worden dat de zanddam zelf niet in de bodemtopografie van het model is opgenomen. Het is niet geheel duidelijk of dit grote effecten heeft op de getijstroomsnelheden 800 m ten zuiden en ten noorden van de zanddam, die tijdens de zandtransportberekeningen gebruikt zullen worden.

Het verdient daarom ook de aanbeveling om het lodingsgebied uit het bestaande model te halen en met de gedetailleerde bodemtopografie van de zanddam, de getijstroomsnelheden ter plaatse van de dam te berekenen met een nieuw model. De resulterende getijstroomrichting, die uit een dergelijke berekening volgt, kan ook een indicatie geven over de richting van het resulterende zandtransport. Een voorwaarde is wel dat de periode dat er een ebstroom is, bij benadering gelijk is aan de periode dat er een vloedstroom is. Dit is in de omgeving van de zanddam het geval. Deze resultaten (resulterende getijstroom uit het nieuwe model) kunnen vervolgens vergeleken worden met de resultaten die uit de beschrijving van het gedrag van de zanddam volgen. Doordat in een nieuw model nieuwe randvoorwaarden opgelegd moeten worden en het afregelen van het nieuwe model enige tijd in beslag neemt, is dit niet haalbaar geacht tijdens dit onderzoek naar het gedrag van de zanddam.

Triwaq slaat de uitgevoerde berekeningen niet centraal op, wat tot gevolg heeft dat de roosterpunten waarvan een uitvoer van de getijstroomsnelheden gewenst is, moeten worden opgegeven voordat met Triwaq de berekening wordt uitgevoerd. In de afgelopen jaren zijn er wel berekeningen met Triwaq gedaan voor het Nederlandse kustgebied, maar zijn de roosterpunten ter plaatse van de zanddam niet als uitvoerpunten opgegeven. Dit heeft tot gevolg dat de getijstroomsnelheden in de buurt van de zanddam tijdens dit onderzoek naar het gedrag van de zanddam niet bekend zijn. Tevens was er tijdens dit onderzoek geen gelegenheid om met Triwaq een nieuwe berekening uit te voeren.

In bijlage D2 is een voorbeeld van een uitvoer van Triwaq gegeven van de gemiddelde getijstroomsnelheden (reststroom). De zanddam is schematisch in de figuur getekend, zodat een indruk wordt verkregen van de richting van de reststroom ter plaatse van de zanddam. Het blijkt dat de zanddam, volgens de berekeningen van Triwaq op een grens ligt van een noord- en zuidwaarts gerichte reststroom. Uit de beschrijving van het gedrag van de zanddam (hoofdstuk 4) is een duidelijke verplaatsing naar het noordoosten geconstateerd, wat een aanwijzing is dat de reststroom ter plaatse van de zanddam naar het noordoosten gericht zou moeten zijn.

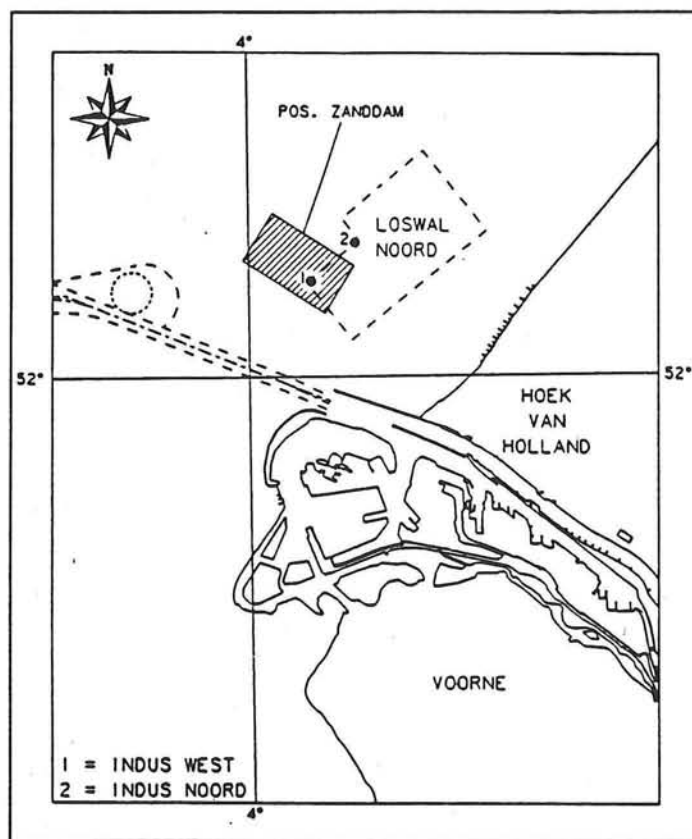
Het ontbreken van de getijstroomsnelheden uit Triwaq heeft tot gevolg dat de lokale getijstroomsnelheden ter plaatse van de zanddam niet beschikbaar zijn. Voor het vervolg van de berekeningen, die tijdens dit onderzoek worden uitgevoerd, worden de getijstroomsnelheden die uit de verschillende metingen volgen, gebruikt.

### **3.6.3 Gemeten getijstroom.**

In de loop der jaren zijn er verschillende getijstroommetingen verricht. Voor de bepaling van de getijstroom is gebruik gemaakt van een drietal metingen:

- De eerste meting betreft de meting die uitgevoerd is over een periode van twee weken in juni 1978 ter plaatse van Indus West (figuur 3.4) op een hoogte van 7,30 m boven de bodem [Redeker en Kollen, 1983].

- De tweede meting is een 13-uursmeting en is uitgevoerd in het meetpunt Indusbank-Noord (figuur 3.4) op 21 mei 1981 op een hoogte van 0,50 m boven de bodem [Bossinade en Bubbert, 1983]. Hiervan zijn de gemiddelde snelheden berekend. Voor spring- en doottijd moeten factoren in rekening gebracht worden.
- De derde meting bestaat uit een reeks van in verschillende periodes uitgevoerde metingen in de jaren 1991 en 1992 ter plaatse van het meetpunt Indusbank-Noord op een hoogte van 0,15 m boven de bodem [Verlaan en Spanhoff, 1993]. Van deze metingen zijn figuren beschikbaar en zijn de gegevens opgeslagen op floppy-disk. Voor dit onderzoek wordt in eerste instantie een schatting gedaan van de maximale snelheden en de overheersende stromingsrichting, zodat een eerste indruk van de grootte van de getijstroomsnelheden wordt verkregen.



Figuur 3.4 Posities waar de getijstroommetingen uitgevoerd zijn.

De metingen die beschikbaar zijn, zijn alle op een andere hoogte boven de bodem uitgevoerd. Hiermee moet bij de interpretatie van de verschillende verrichte metingen rekening gehouden worden. De stroming over de diepte (verticaal) kan worden benaderd door een logaritmisch verloop (afnemend naar de bodem).

De stroomsnelheden die in Redeker en Kollen [1983] gebruikt zijn, gelden voor een hoogte van 7,30 m boven de bodem, waardoor deze gemeten stroomsnelheden hoger zijn dan de stroomsnelheden die in werkelijkheid bij de bodem optreden. Om een goede vergelijking met de andere gemeten getijstroomsnelheden te kunnen maken, moeten de snelheden omgerekend worden naar een stroomsnelheid op eenzelfde hoogte boven de bodem. De formule die voor deze omrekening wordt gebruikt, staat in hoofdstuk 5 vermeld (formule 5.3). Hieruit volgt dat de getijstroomsnelheid op 0,15 m boven de bodem ongeveer 0,52 m/s is. Dit is een iets grotere waarde dan die gevonden wordt voor de metingen van Verlaan en Spanhoff. Mede door het feit dat de metingen van Verlaan en Spanhoff een langere tijdsperiode beslaan, worden de getijstroomsnelheden die door Redeker en Kollen worden gebruikt minder geschikt geacht.

De metingen die door Bossinade en Bubbart zijn uitgewerkt, zijn 13-uursmetingen. De vraag is of één 13-uursmeting een representatief beeld geeft. Nadat een grove vergelijking met de langdurige meting [Verlaan en Spanhoff, 1993] is uitgevoerd, blijkt dat de waarden redelijk overeenkomen. Desondanks worden de meetgegevens van Bossinade en Bubbart minder geschikt bevonden dan de meetgegevens van Verlaan en Spanhoff. Verlaan en Spanhoff beschikken immers over een reeks metingen van in totaliteit ongeveer tien weken opnames. Ook zijn deze metingen met nieuwere en betere apparatuur uitgevoerd. De metingen zijn in grafiekvorm uitgewerkt en de data zijn op floppy-disk opgeslagen. Er zijn geen gemiddelde- spring- en doodtij cycli gegeven, die onder normale weersomstandigheden gelden.

Om een indruk van de stroomsnelheden en stroomrichtingen te krijgen, zijn de belangrijkste gegevens in tabel 3.3 samengevoegd.

	Redeker en Kollen omgerekend naar bodem + 0,15 m	Bossinade en Bubbart bodem + 0,50 m	Verlaan en Spanhoff bodem + 0,15 m
$v_{\max}$ (m/s)	niet bepaald	0,33	
$v_{\text{springtij}}$ (m/s)	0,52	0,40	0,45
$v_{\text{doodtij}}$ (m/s)	niet bepaald	0,26	0,23
overheersende stroomrichting (°)	235 en 55	221 en 41	210 en 30
hoek met de as van de zanddam (°)	70 (op 7,30 m boven de bodem)	85	97

Tabel 3.3 Stroomgegevens van de beschikbare metingen.

Uit tabel 3.3 komt naar voren dat de getijstroomsnelheden van de metingen goed overeenkomen. De hoofdrichtingen geven een verdraaiing linksom (van het wateroppervlak naar de bodem toe) te zien, hetgeen te verklaren is door de coriolis krachten (spiraal van Ekman). Hoe dichterbij de bodem gemeten wordt, des te meer de getijstrooming een hoek van 90° met de zanddam benadert (zie ook bijlage D1). Uitgebreidere gegevens wat betreft de getijstrooming zijn opgenomen in bijlage D1.

### **3.7 Bodemonderzoek.**

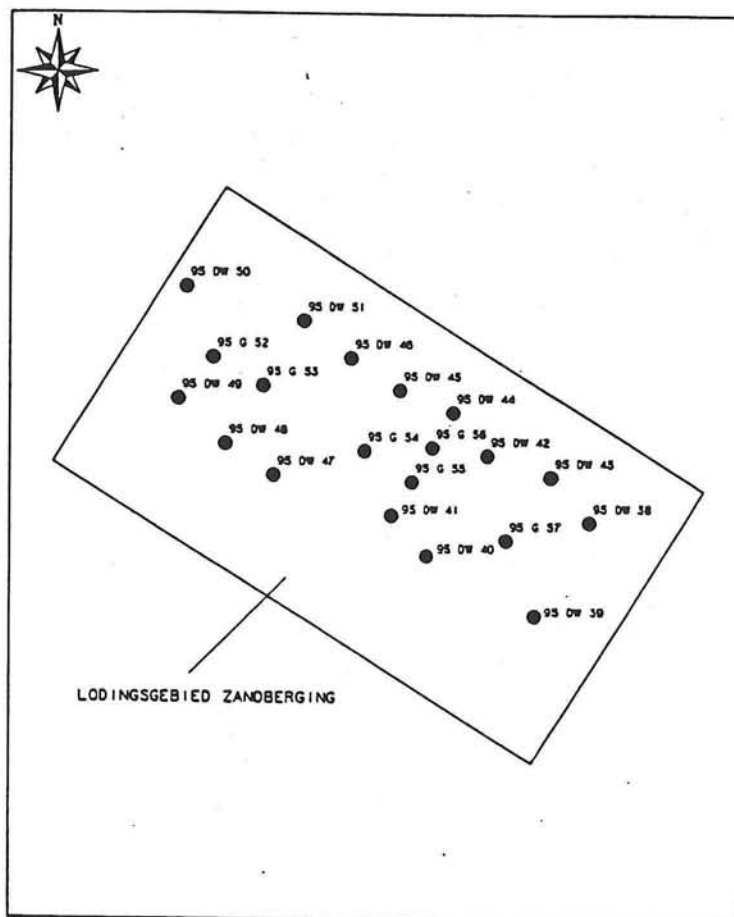
De tot nu toe meest recente bodemgegevens van de zanddam en het omliggende gebied stammen uit het jaar 1983 (zie bijlage E). In de loop der jaren kunnen er veranderingen in de samenstelling van het zand in de bovenste laag zijn opgetreden. Dit is een reden om nieuwe bodemmonsters in het gebied te nemen. Tevens zijn recente bodemgegevens nodig om te kunnen constateren of de zanddam als slibgeleiding dient en of de korreldiameterverdeling sinds 1983 veranderd is, zodat, wanneer er sprake is van aanzanding, de herkomst van het zand kan worden nagegaan. Ook kan de kleur van het zand iets over de activiteit van het zand zeggen. Wanneer de kleur bruinachtig is, is het zand actief (dus recent in beweging geweest) en wanneer het grijsig is, betekent dat, dat het zand niet actief is.

In figuur 3.5 zijn de plaatsen, waar de bodemmonsters genomen zijn, aangegeven. Een samengevatte uitwerking is in bijlage E te vinden.

De monsters ten zuiden en ten noorden van de zanddam zijn met de "trilflip" genomen. De kernlengte van de boringen ligt tussen de 3,85 en de 4,23 m. De monsters die op de top van de zanddam genomen zijn, zijn met de Van Veen happer genomen. De Van Veen happer bemonstert echter alleen de bovenste halve meter van de bodem. De resultaten van het bodemonderzoek zijn in het rapport dat door de Rijks Geologische Dienst (RGD) is samengesteld, opgenomen [Zonneveld, 1995]. Voor de analyse van het gedrag van de zanddam is vooral de korreldiameter, het gehalte aan slib in de bovenste laag en de kleur van het zand belangrijk. De gemiddelde korreldiameter en het gehalte aan slib zijn bepaald met behulp van de Malvern Particle Sizer (MPS). De kleur van het zand is vastgesteld aan de hand van de Munsell kleurkaart.

Uit het bodemonderzoek is gebleken dat de bovenste laag uit matig tot grof schoon zand met een gemiddeld slibgehalte van 1,7% bestaat (gemiddelde van alle bodemmonsters). De dikte van de bovenste laag varieert tussen de 0,18 m en de 0,80 m. Er is één afwijkende boring (95DW43) aan de noordzijde van de zanddam waarin het zand een slibgehalte van 13% heeft. Wanneer deze afwijkende boring niet in de berekening van het gemiddelde slibgehalte wordt meegenomen, volgt een gemiddeld slibgehalte van 1,1% in plaats van de eerder genoemde 1,7%.

Voor de berekening van het gemiddelde slibgehalte aan de noordzijde van de zanddam, wordt de afwijkende boring ook buiten beschouwing gelaten. De slibgehalten in de onderliggende lagen zijn hoger dan de slibgehalten die in de bovenste laag voorkomen. Deze slibgehalten variëren tussen de 3,1% en de 24,6%. In bijlage E zijn de verschillende lagen weergegeven.



Figuur 3.5 Overzicht van de plaatsen waar de bodemonsters zijn genomen.

Uit tabel 3.4 volgt dat de gemiddelde korreldiameters, die uit het bodemonderzoek van 1995 volgen, zijn toegenomen in vergelijking met het bodemonderzoek uit 1983. Wel moet er rekening mee gehouden worden dat de korreldiameters tijdens het bodemonderzoek uit 1983 bepaald zijn door middel van zeven. Uit een onderzoek dat in 1994 door Zonneveld van de RGD is uitgevoerd [Zonneveld, 1994], is gebleken dat via de MPS-methode hogere waarden worden gevonden dan met de zeefmethode. Dit kan leiden tot verschillen in de gemiddelde korreldiameters van ongeveer 20 à 22%.



	Zuidzijde dam	Top van de dam	Noordzijde dam
Gem. D <sub>50</sub> bovenste laag	250 $\mu\text{m}$	420 $\mu\text{m}$	290 $\mu\text{m}$
Gem. slibgehalte	1,58 %	0,14 %	1,43 % (excl. afwijkende punt)
kleur	olijf groen	grijs bruin	olijf groen
Gem. D <sub>50</sub> tweede laag	200 $\mu\text{m}$	geen tweede laag	240 $\mu\text{m}$
Gem. D <sub>50</sub> 1983	200 $\mu\text{m}$	260 $\mu\text{m}$	220 $\mu\text{m}$

Tabel 3.4 Resultaten bodemonderzoek.

Er zijn drie mogelijke verklaringen voor de toename van de korreldiameter:

- Ten eerste kan het zand van buitenaf aangevoerd zijn. Het zand in de tweede laag zal dan moeten overeenkomen met de gemiddelde korreldiameter die tijdens het bodemonderzoek uit 1983 zijn bepaald. Uit de tabel is op te maken dat dit inderdaad het geval is.
- De tweede mogelijkheid is dat het fijne zand uitgespoeld is. Ook in dit geval kan de D<sub>50</sub> van de tweede laag overeenkomen met de D<sub>50</sub> van de bovenste laag in 1983.
- De derde mogelijkheid is het genoemde verschil dat ontstaat door de toepassing van de verschillende analyse methoden. In 1983 is gebruik gemaakt van een zeefmethode en in 1995 is de D<sub>50</sub> bepaald met de MPS-methode. Voor de bodemmonsters die aan de zuid- en noordzijde van de zanddam zijn genomen, kan de toename van de D<sub>50</sub> inderdaad verklaard worden door de methode die gebruikt is tijdens de analyse van de bodemmonsters. Voor de bodemmonsters die op de top van de zanddam genomen zijn, is de toename ongeveer 60 %.

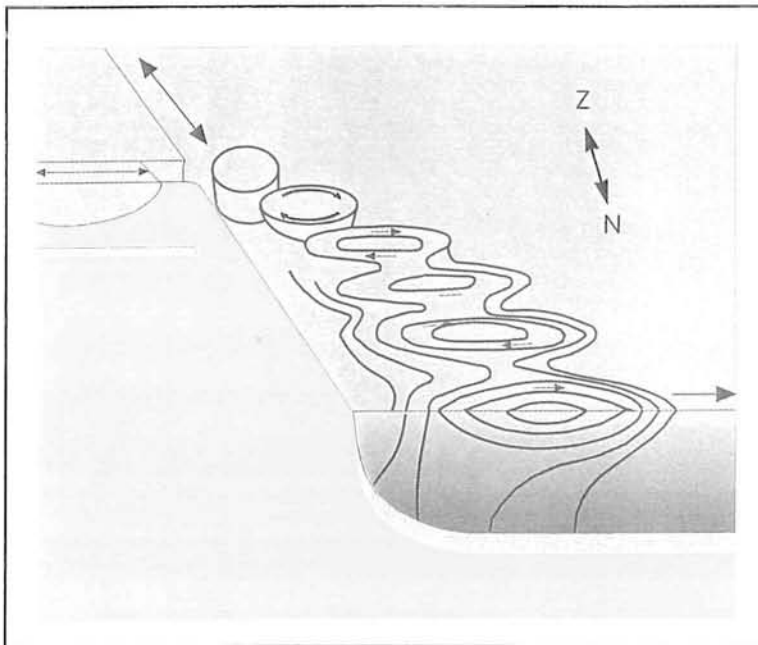
Gezien de over het algemeen resulterende erosie, die in de paragrafen 4.7 en 5.3 wordt gevonden, lijkt het als tweede genoemde proces (uitspoeling) het meest logische proces dat zich afspeelt. Dit proces zal zich in ieder geval bij de top van de zanddam afspelen. Aan de zuid- en noordzijde van de zanddam lijkt de derde mogelijkheid (verschil in methode tijdens de bepaling van de D<sub>50</sub>) van toepassing te zijn. In tabel 3.4 is ook de overheersende kleur aan de beide zijden en de top van de zanddam aangegeven. Hieruit blijkt dat het zand op de top actiever is dan het zand aan de zuid- en noordzijde. Ook het gemiddelde slibgehalte op de top is lager dan de slibgehalten aan de zuid- en noordzijde. Dit komt overeen met de activiteit van het zand en de grotere snelheden die optreden boven de zanddam. Ook zijn de slibgehalten in de tweede laag hoger dan die in de bovenste laag.

Dit kan een bevestiging zijn dat de toename van de korreldiameter inderdaad veroorzaakt is door de uitspoeling van de kleinere zand- en slibdeeltjes. Tussen de korreldiameterverdelingen aan de zuid- en noordzijde en top van de zanddam is geen relatie te vinden, die de richting van het zandtransport kan aangeven.

### 3.8 Invloed van de Rijnafvoer.

De zanddam ligt vrij dicht bij de havenmond van Rotterdam, waar ook een gedeelte van de afvoer van de Rijn uitstroomt. Het zoete rivierwater stroomt uit in de zee. Het zoute zeewater is zwaarder dan het zoete rivierwater, zodat er dichtheidsgradiënten optreden, die tot dichtheidsstromen leiden.

Uit onderzoek is gebleken dat Loswal Noord binnen de invloedssfeer van dit fenomeen ligt [Borst, 1987 en RIKZ, 1995]. Dit geldt dan ook voor de zanddam (zie figuur 2.1). Een pluim van zoet water komt vanaf de Rijn via de Nieuwe Waterweg de zee in. Omdat zoet water lichter is dan zout water, zal de zoet-waterpluim aan het oppervlak de zee instromen. Deze oppervlaktestroming heeft een kustwaarts gerichte onderstroom bij de bodem tot gevolg (3-dimensionale circulatie). Dit is een stroming die bij benadering evenwijdig is aan de as van de zanddam. Dit proces is schematisch weergegeven in figuur 3.6.



Figuur 3.6 Schematische weergave van de Rijnuitstroom [uit RIKZ, 1995].

Door het RIKZ zijn berekeningen met een gemiddelde afvoer van de Rijn uitgevoerd.

Hieruit blijkt dat de zoet-waterpluim zich uitstrekt tot 15 à 20 km uit de kust [Salden en De Kok, 1994]. Dit komt goed overeen met de 20 à 25 km die uit de resultaten van metingen volgt. De onderwater zanddam bevindt zich 6 tot 10 km uit de kust en valt dus binnen het invloedsgebied van de zoet-waterpluim.

In 1987 is er een verkennende beschrijving opgesteld van het stroomklimaat in het kustvak Delfland [Borst, 1987]. In deze studie is geconstateerd dat de variabele Rijnafvoer invloed heeft op de eb- en vloednelheden. Hoge afvoerpieken kunnen in combinatie met een zuidwesten of westen wind ervoor zorgen dat het absolute verschil in de maximale eb- en vloednelheden toeneemt met 20 à 30 cm/s. Dit geldt voor de metingen die verricht zijn bij Scheveningen en Kijkduin. Hoe groot de invloed van de Rijnafvoer ter plaatse van de zanddam is, is in deze studie niet onderzocht.

Een aantal jaren later heeft het RIKZ berekeningen met Triwaq uitgevoerd om de grootte van de invloed van de afvoer van de Rijn te bepalen. Onder normale weersomstandigheden is de grootte van de door horizontale dichtheidsgradiënten aangedreven stroming ongeveer 10 cm/s [De Kok, 1992]. Deze stroming is bij de bodem naar de monding van de Nieuwe Waterweg gericht.

Geconcludeerd kan worden dat de afvoer van de Rijn invloed heeft op de stroming bij de zanddam.

Wel moet er rekening mee gehouden worden dat er naar gestreefd wordt om de afvoer via de Nieuwe Waterweg constant te houden in verband met de scheepvaart en het waterbeheer. Het gedeelte van de afvoer van de Rijn dat via de Nieuwe Waterweg in zee stroomt, zal zolang mogelijk constant gehouden worden. Het overige gedeelte van de afvoer bereikt de zee via het Haringvliet. Alleen wanneer de afvoeren relatief hoog zijn (4000 à 5000 m<sup>3</sup>/s), wordt de constante afvoer via de Nieuwe Waterweg verhoogd.

### **3.9 Gedrag van zandgolven.**

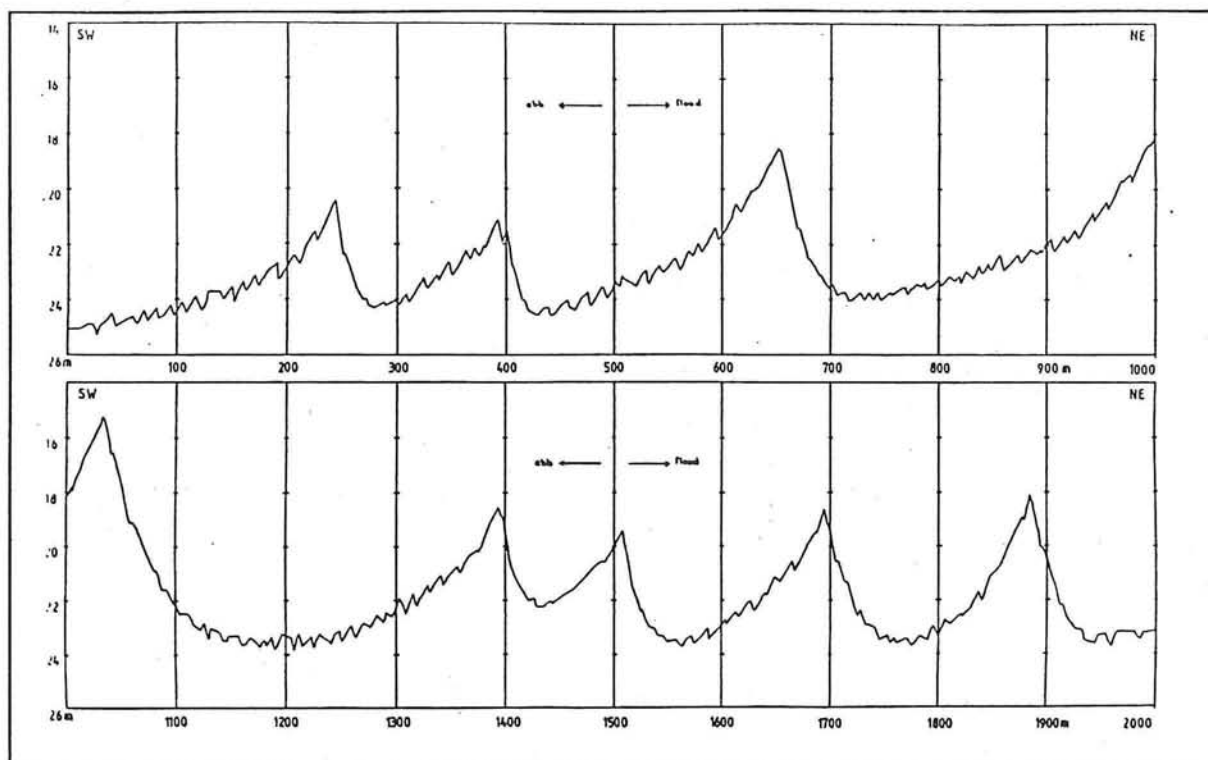
Om de eigenschappen van de zanddam die uit dit onderzoek volgen, te kunnen vergelijken met de eigenschappen van zandgolven, is het nodig kort in te gaan op een aantal, voor dit onderzoek belangrijke, eigenschappen van zandgolven. In de paragrafen van hoofdstuk 4 waar het gedrag van de zanddam overeenkomsten vertoont met de eigenschappen van zandgolven, zal dit worden aangegeven. Voor een samenvatting van de eigenschappen van zandgolven is gebruik gemaakt van een studie die is uitgevoerd door Tobias [1989]. In dat onderzoek zijn de gegevens over zandgolven bestudeerd die voorkomen in en in de buurt van de Eurogeul en in de buurt van Lichteiland Goeree (Nederlandse kust). Samengevat zijn de eigenschappen van zandgolven voor de genoemde gebieden:

- Zandgolven hebben een hoogte die tussen de 2,8 en 6,3 m ligt en hebben een gemiddelde golflengte die tussen de 195 en 387 m ligt.
- Op de flanken van de zandgolven komen megaribbels voor met een hoogte tussen de 0,25 en de 0,7 m. Deze megaribbels hebben een golflengte die tussen de 12,8 m en de 23 m ligt.

- Zandgolven komen voor op een diepte van 20 m tot een diepte van 35 m.
- De zandgolven dicht bij de kust lijken zich in noordoostelijke richting te verplaatsen en zandgolven die zich 75 km uit de kust bevinden lijken zich in zuidwestelijke richting te verplaatsen. De maximale verplaatsingen liggen in de orde van 15 tot 20 m per jaar.
- De maximale fluctuaties (seizoensfluctuaties) die in de hoogte van de zandgolven en de megaribbels optreden, variëren van 0,5 tot 1,2 m. In het zomerseizoen vindt een opbouw van de hoogte van de zandgolven en de megaribbels plaats, terwijl in het winterseizoen een afvlakking plaatsvindt.
- In tegenstelling tot de positie van de top, is de positie van de dalen van de zandgolven stabiel. De top van de zandgolven verplaatst zich soms voorwaarts en soms achterwaarts tijdens een lodingsinterval.
- Van de geobserveerde zandgolven ligt de  $D_{50}$  tussen de 297 en 328  $\mu\text{m}$ . De korrelgrootte op de top van de zandgolven is groter dan die in de dalen. Dit is een gevolg van uitspoeling van de fijnere deeltjes die naar de dalen getransporteerd worden.
- De getijstrooming alleen kan tot sedimenttransport leiden. De orbitaalbeweging, opgewekt door gemiddeld voorkomende golven, is te klein om de beweging van het zand te initiëren. Tijdens stormen kan de orbitaalbeweging wel tot begin van bewegen van zand leiden op diepten kleiner dan 34 m. Een combinatie van getijstrooming en orbitaalsnelheden kunnen onder alle condities tot sedimentbewegingen leiden.
- Zandgolven hebben een asymmetrische vorm. Aan de lijzijde variëren de hellingen tussen de 1:10 en 1:20. Aan de loefzijde variëren de hellingen tussen de 1:20 en de 1:45 in het bovenste gedeelte van de zandgolf, overlopend in hellingen van 1:80 in het onderste gedeelte van de zandgolf. Deze hellingen gelden voor zandgolven die op een diepte van 34 meter voorkomen.

Bij de geconstateerde verplaatsing van de zandgolven moet wel een kanttekening geplaatst worden. Tijdens het onderzoek naar het gedrag van de zanddam is ook vluchtig de ligging van de zandgolven in de Europeul bestudeerd over de laatste 15 jaar. Hieruit is gebleken dat de zandgolven vrijwel op hun plaats zijn blijven liggen en is dus geen verplaatsing geconstateerd.

Ter illustratie is in figuur 3.7 een dwarsdoorsnede van een aantal zandgolven met megaribbels weergegeven. Dit is een opname uit april 1981 bij het onderzoeksgebied Lichteiland Goeree.



Figuur 3.7 Dwarsdoorsnede van zandgolven bij Lichteiland Goeree [uit Tobias, 1989].

## **HOOFDSTUK 4 Beschrijving van het gedrag van de onderwater zanddam.**

### **4.1 Inleiding.**

Tijdens de beschrijving van het gedrag van de zanddam is gebruik gemaakt van een HP-computer van DNZ. Met het computerprogramma SIB kunnen doorsneden van de zanddam getekend worden, zwaartelijnen en hellingen berekend worden en kuberingen en verschil kuberingen gemaakt worden. Bij de interpretatie van de uitkomsten van dit onderzoek, moet er rekening mee gehouden worden dat het aantal lodingen gering is en deze ook onregelmatig zijn uitgevoerd. Dit met betrekking op de eventuele invloeden van het winter- en zomerseizoen. Om het gedrag van de zanddam te kunnen bestuderen, is het lodingsgebied opgedeeld in raaien om de 100 m, die loodrecht op de as van de zanddam gesitueerd zijn. Deze opdeling is reeds in figuur 2.2 (hoofdstuk 2) gegeven.

Zoals vermeld in paragraaf 3.4, bleken de gegevens over de posities van de bijstortingen te ontbreken, wat tot gevolg heeft gehad dat niet alle lodingen in haar geheel voor het onderzoek geschikt zijn. De volgende gedeelten van de lodingkaarten kunnen in ieder geval gebruikt worden:

Voor raai 4 tot en met 14 : 1982 - 1995

Voor raai 15 tot en met 21 : 1986 - 1995

Voor raai 22 tot en met 34 : 1991 - 1995

Voor het onderzoek zijn de volgende veranderingen van de zanddam geanalyseerd en beschreven:

- Verplaatsing van de top per raai in de tijd (paragraaf 4.2);
- Verplaatsing van de zwaartelijnen van de verschillende raaien in de tijd (paragraaf 4.3);
- Verplaatsing van de damvoeten (paragraaf 4.4);
- Verandering van de hoogte van de top in de tijd (paragraaf 4.5);
- Verandering van de hellingen van de zanddam per raai in de tijd (paragraaf 4.6);
- Kuberingen van het gehele gebied en per raai in de tijd (paragraaf 4.7);

Vervolgens wordt in paragraaf 4.8 nagegaan of er verbanden bestaan tussen de veranderingen van de verschillende aspecten en of er een regelmatige verandering van de zanddam plaatsvindt. In paragraaf 4.9 wordt aandacht besteed aan de functie van de zanddam als slibvang en -geleider. De conclusies die uit dit hoofdstuk volgen, worden in paragraaf 4.10 beschreven. Tenslotte wordt in paragraaf 4.11 een vergelijking gemaakt met de conclusies die in het afstudeerrapport van Redeker en Kollen zijn getrokken.

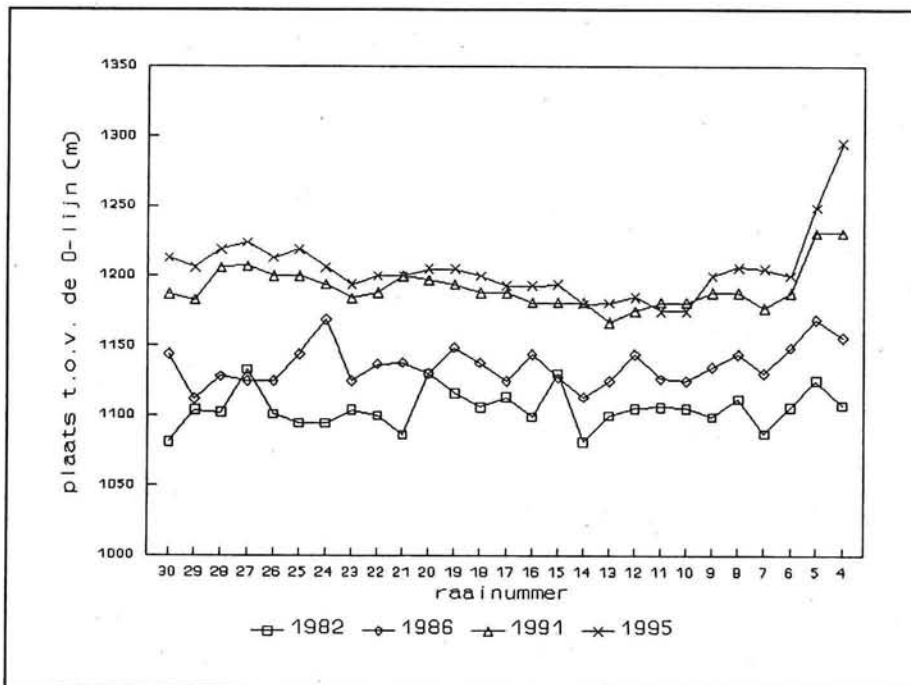
### **4.2 Verplaatsing van de kam.**

De verplaatsing van de top in het horizontale vlak wordt aan de hand van het hoogste punt van de zanddam in de betreffende dwarsdoorsnede bepaald. De x-waarde wordt ten opzichte van de 0-lijn (zie figuur 2.2) afgelezen voor elke raai en voor elk lodingsjaar.

Voor de beschrijving van de verplaatsing van de kam van de zanddam wordt niet uitgegaan van de "jaarlijkse" lodingen, maar van lodingen die een langere periode begrenzen (perioden van 3,25 tot 5 jaar, afhankelijk van de lodingstijdstippen):

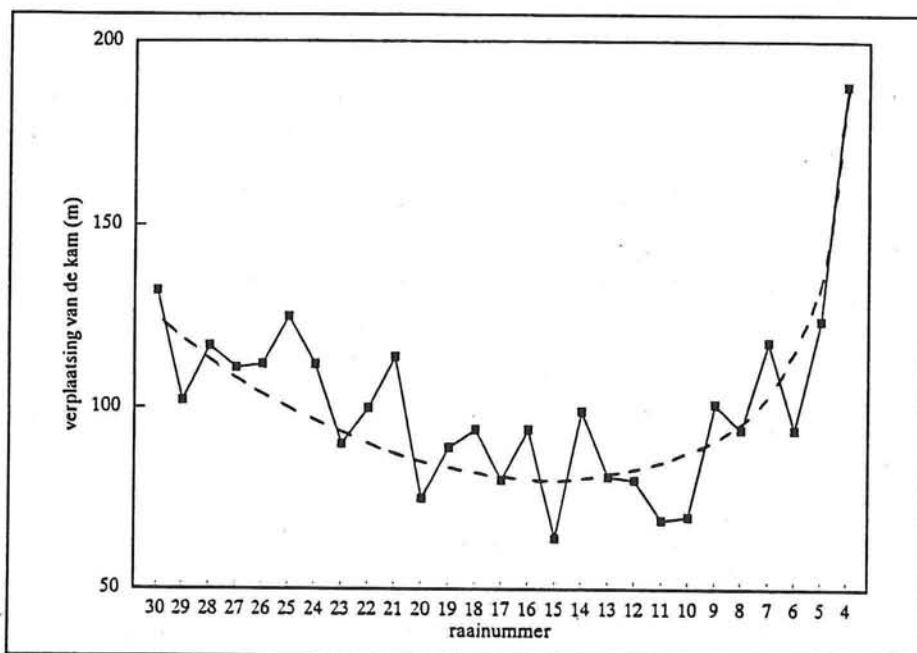
- september 1982 tot en met januari 1986,
- januari 1986 tot en met maart 1991,
- maart 1991 tot en met mei 1995.

Voor de periode 1986 tot en met 1991 kan dit niet anders, omdat van de tussenliggende jaren geen lodingen beschikbaar zijn. Voor de perioden 1982 tot en met 1986 en 1991 tot en met 1995 zijn wel tussenliggende lodingen beschikbaar en deze kunnen in principe wel gebruikt worden. Het blijkt echter dat de verplaatsingen van de top die worden gevonden als alle lodingen worden gebruikt, vrijwel dezelfde resultaten geven als wanneer alleen van de lodingen gebruik gemaakt wordt die de drie perioden begrenzen. Dit wordt verder toegelicht in bijlage F. De gegevens over de plaats van de top van de zanddam zijn ook in bijlage F opgenomen, evenals een figuur waarin de totale verplaatsingen in de drie perioden worden weergegeven. In figuur 4.1 is de plaats van de top in de raaien voor de jaren 1982, 1986, 1991 en 1995 weergegeven, zodat een indruk wordt gekregen van de plaats en de verplaatsingen van de kam. Voor het onderzoek naar de verplaatsing van de kam kunnen de gegevens van raai 4 tot en met raai 30 gebruikt worden vanaf 1982. Dit wijkt af van de in paragraaf 4.1 genoemde gedeelten van de lodingen die voor het onderzoek geschikt worden geacht.



Figuur 4.1 Ligging van de kam.

Raai 30 tot en met 34 zijn niet geschikt, omdat daar de bijstortingen wel een te grote onnatuurlijke invloed op de verplaatsing van de top van de zanddam hebben gehad (met name raai 31). Voor de bepaling van de totale verplaatsing van de kam over 12,5 jaar is uitgegaan van het verschil van de plaats van de kam in 1995 ten opzichte van de plaats van de kam in 1982. De verplaatsing van de hele kam over de periode 1982 tot en met 1995 wordt weergegeven in figuur 4.2. Het blijkt dat de geconstateerde veranderingen goed kunnen worden benaderd door een lijn.



Figuur 4.2 Totale verplaatsing van de top per raai over de periode 1982-1995.

Uit figuur 4.2 is op te maken dat de top in raai 4 de grootste verplaatsing heeft en dat de grootte van de verplaatsing afneemt tot raai 14. Vanaf raai 14 neemt de verplaatsing van de top echter weer toe, maar blijft kleiner dan de verplaatsing die in raai 4 is gevonden.

Er kan dus gesteld worden dat er grote verschillen in de verplaatsing van de top optreden. Waarschijnlijk heeft dit te maken met de hoogte van de top van de zanddam en de waterdiepte boven de top van de zanddam, die over de lengte van de zanddam nogal verschillen.



De zanddam is gezien de verplaatsingen van de top in twee gebieden op te delen:

- raai 4-14, waar in zeewaartse richting een afname van de verplaatsing is,
- raai 15-30, waar in zeewaartse richting een toename van de verplaatsing is.

Om een indruk te krijgen van de verplaatsing van de kam van de zanddam is uitgegaan van een gemiddelde verplaatsing per beschouwde periode. De gemiddelde verplaatsingen zijn in tabel 4.1 aangegeven. In deze tabel zijn de vetgedrukte gedeelten de verplaatsingen die met elkaar worden vergeleken, omdat deze vanaf 1982 gebruikt kunnen worden. De overige vermelde verplaatsingen dienen ter vergelijking van de gevonden waarden over dezelfde periode.

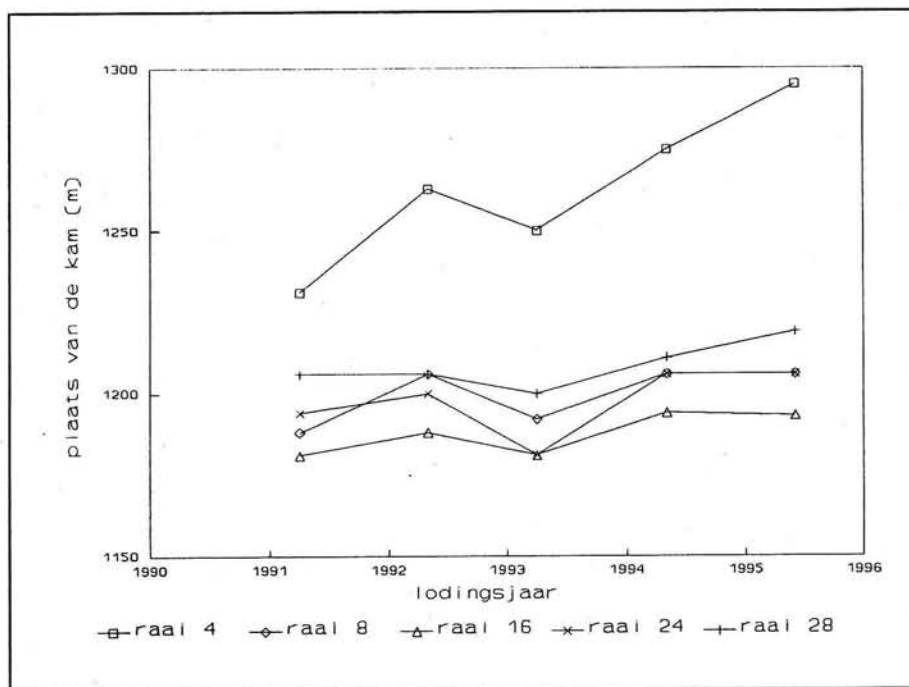
periode	raaien waarvoor verplaatsingen gelden	gem. totale verplaatsing (m)	gem. jaarlijkse verplaatsing (m)
1982-1986 (3,25 jaar)	<b>4 - 14</b>	<b>35,10</b>	<b>10,80</b>
1986-1991 (5 jaar)	<b>4 - 14</b>	<b>50,40</b>	<b>10,08</b>
	15 - 21	55,75	11,15
	4 - 21	52,78	10,56
1991-1995 (4 jaar)	<b>4 - 14</b>	<b>16,40</b>	<b>4,10</b>
	15 - 21	7,50	1,88
	21 - 34	18,92	4,73
	4 - 34	15,16	3,79

Tabel 4.1 Gemiddelde verplaatsing van de kam.

Uit tabel 4.1 blijkt dat in de periode 1982 tot en met 1991 voor raai 4 tot en met raai 14 de verplaatsing jaarlijks bij benadering constant is en dat vanaf 1991 de verplaatsing met een veel lagere snelheid verloopt. Een verklaring hiervoor zou kunnen zijn dat het gedrag van de zanddam, wat de verplaatsing van de kam betreft, zich stabiliseert. In figuur F3 in bijlage F is te zien dat in het middengedeelte van de zanddam (raai 15 tot en met 21) de top van de zanddam zich vanaf 1991 nauwelijks verplaatst in horizontale richting. In figuur 4.2 komt het verschil in snelheid van de verplaatsingen over de lengte van de zanddam ook goed tot uitdrukking.

Als alle lodingsgegevens over de plaats van de top in beschouwing worden genomen, blijkt dat in de periode 1992-1993 de top een verplaatsing naar het zuidwesten in plaats van naar het noordoosten ondervindt (achterwaartse verplaatsing). Deze verplaatsing naar het zuidwesten wordt over de gehele kam van de zanddam geconstateerd. Dit is een fenomeen dat ook bij zandgolven voorkomt. Ook in de periode 1985-1986 is voor een groot aantal raaien een achterwaartse verplaatsing van de zanddam waar te nemen.

In figuur 4.3 wordt de plaats van de kam in een aantal raaien voor de periode 1991-1995 weergegeven. Hierin is de achterwaartse verplaatsing van de kam in de periode 1992-1993 duidelijk waar te nemen. Tussen de windgegevens (bijlage C1) en deze achterwaartse verplaatsing is geen duidelijk verband te constateren. In de periode 1992-1993 zijn er wel meer stormen geweest dan in de andere jaren, maar deze stormen zijn evenals de tijdens de andere lodingsintervallen voorkomende stormen uit de overheersende windrichtingen (zuidwest-noordwest).



Figuur 4.3 Achterwaartse verplaatsing van de top in de periode 1992-1993 (jaartallen staan op de maand januari van het betreffende jaar vermeld).

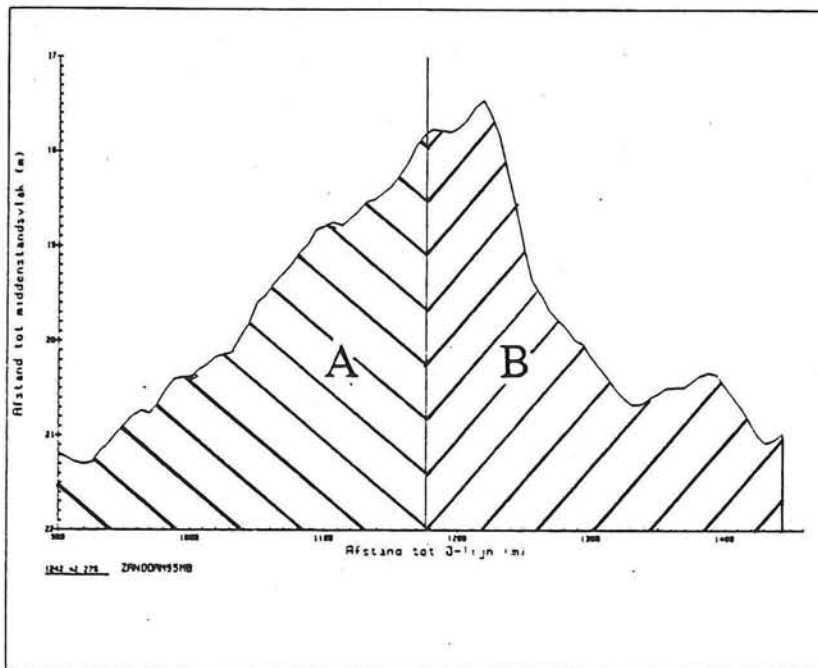
De verplaatsing van de top van de zanddam is, op de perioden 1992-1993 en 1985-1986 na, in noordoostelijke richting. De verplaatsing van de top over de periode 1982-1995 varieert tussen de 80 en de 190 m met een gemiddelde van 100 m.

### 4.3 Verplaatsing van de zwaartelij. n.

Naast de verplaatsing van de kam wordt ook de verplaatsing van de zwaartelij. n bestudeerd. Onder de zwaartelij. n wordt verstaan:

*Een verticale lijn die het oppervlak van de zanddam in twee gelijke delen opsplij. t.*

Onder het oppervlak van de zanddam wordt dat gedeelte verstaan dat in horizontale richting afgebakend wordt door de damvoeten en in verticale richting door zanddam zelf en het eerstvolgende gehele dieptegetal onder het laagste punt dat in de dwarsdoorsnede voorkomt. Met het gehele dieptegetal wordt de diepte om de hele meter bedoeld (MV -20, 21, -22 etc.). In figuur 4.4 wordt dit grafisch toegelicht.



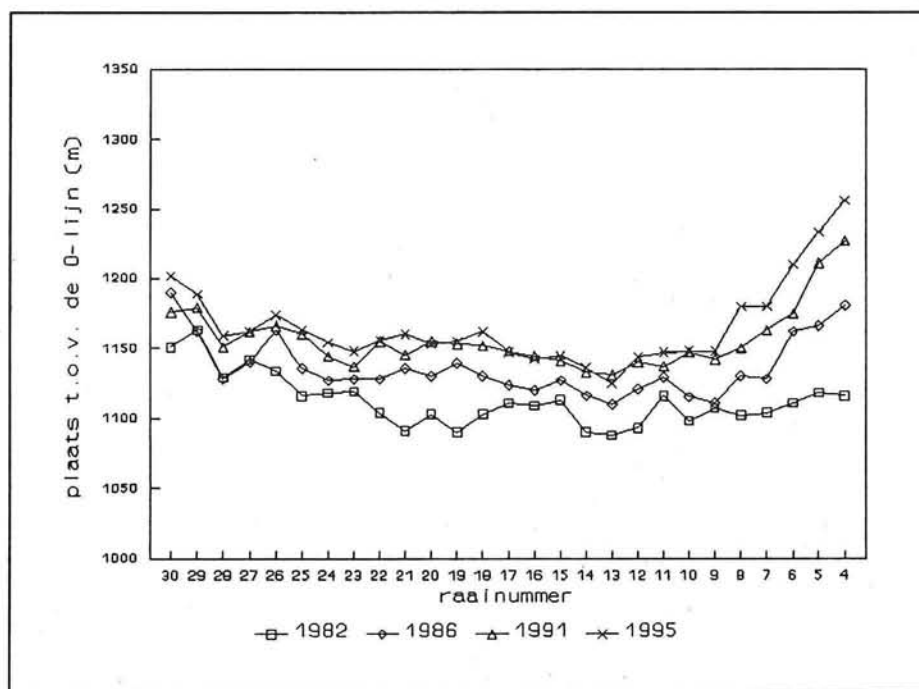
Figuur 4.4 Grafische weergave van de betekenis van de zwaartelij. n.

De reden voor het bestuderen van het verloop van de zwaartelij. n is dat de zwaartelij. n in tegenstelling tot de kam van de zanddam minder sterk variëren in de tijd. De verplaatsing van de zwaartelij. n hangt af van de hele inhoud van de zanddam, terwijl de verplaatsing van de kam alleen afhankelijk is van het bovenste gedeelte van de zanddam. Het bovenste gedeelte is het meest variabele gedeelte van de zanddam (zie ook paragraaf 4.5), waardoor de verplaatsing van de kam minder representatief is voor de verplaatsing van de zanddam in het horizontale vlak.

De verplaatsing van de zwaartelijn wordt, evenals de verplaatsing van de kam, per raai bestudeerd. Om de plaats van de zwaartelijn in een raai te kunnen bepalen, moeten eerst de plaatsen van de damvoeten van de zanddam vastgesteld worden. De bepaling van de plaats van een damvoet wordt beschreven in paragraaf 4.4. Evenals bij het onderzoek naar de verplaatsing van de kam van de zanddam, kan bij het onderzoek naar de verplaatsing van de zwaartelijn gebruik gemaakt worden van de raaien 4 tot en met 30 vanaf 1982.

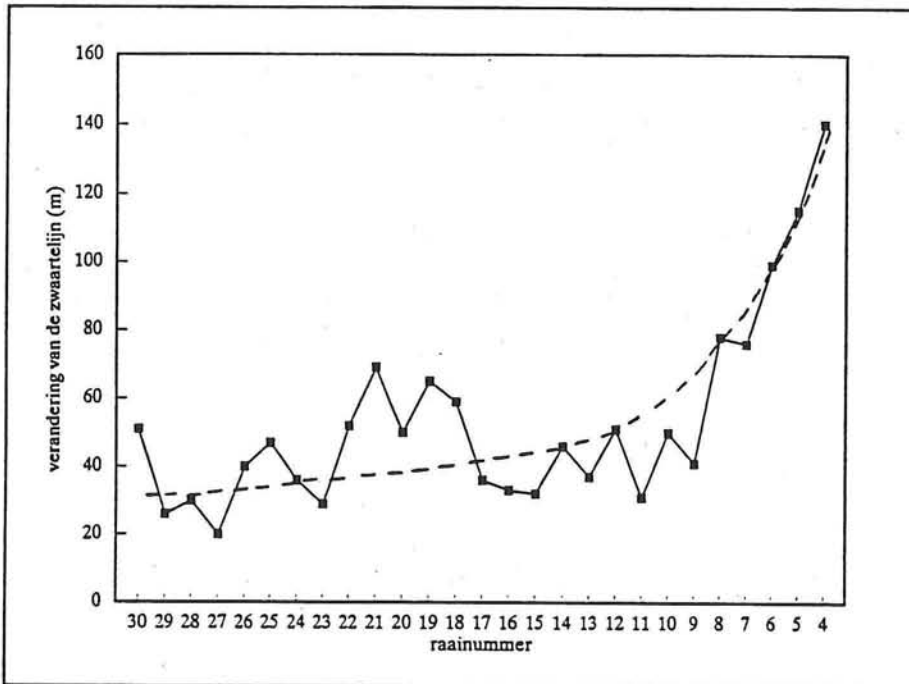
In bijlage G is een overzicht van de gegevens van de plaats van de zwaartelijn gegeven evenals een figuur waarin de verplaatsingen van de zwaartelijnen zijn weergegeven. Ook wordt in deze bijlage aangetoond dat het gerechtvaardigd is om voor de analyse van het gedrag van de zwaartelijnen in de tijd alleen gebruik te maken van de lodingen uit 1982, 1986, 1991 en 1995 in plaats van alle beschikbare lodingen.

In figuur 4.5 zijn de plaatsen van de zwaartelijnen van een aantal lodingsjaren weergegeven. Door een vergelijking te maken met figuur 4.1, valt het op dat de verplaatsingen van de zwaartelijnen kleiner zijn dan die van de toppen. Dit wordt ook bevestigd in figuur 4.6, waarin de totale verplaatsing van de zwaartelijnen over de hele beschouwde periode wordt weergegeven.



Figuur 4.5 Ligging van de zwaartelijnen per raai.

Evenals bij de totale verplaatsing van de kam is de grootste verplaatsing in de eerste raaien (ondiepe gedeelte) en neemt de grootte van de verplaatsing af in zeewaartse richting. In tegenstelling tot de verplaatsing van de top, blijft de verplaatsing van de zwaartelijns over de lengtedoorsnede afnemen in zeewaartse richting. Er is dus sprake van een dalende trend in zeewaartse richting (als de hele periode 1982-1995 beschouwd wordt).



Figuur 4.6 Totale verplaatsing van de zwaartelijnsen per raai over de periode 1982-1995.

Wanneer alleen de periode 1991 tot en met 1995 beschouwd wordt (zie figuur G3 in bijlage G), blijkt dat de verplaatsing in de raaien 27 tot en met 30 niet afneemt maar toeneemt. Dit komt overeen met de verplaatsingen die zich in dezelfde periode bij de verplaatsing van de kam afspelen. Deze constatering is een belangrijk gegeven, omdat het een ander beeld kan geven van de verhouding tussen de verplaatsing van de zwaartelijns van de zanddam en de top van de zanddam. Hier moet in paragraaf 4.8 dus rekening mee worden gehouden. In de jaren 1991 tot en met 1995 is immers de enige beschikbare periode waarin niets meer is bijgestort.

Om een indruk te krijgen van de gemiddelde verplaatsing van de zwaartelijnsen is per periode de gemiddelde verplaatsing berekend. Deze verplaatsingen zijn in de tabel 4.2 vermeld. Evenals in tabel 4.1 zijn de vetgedrukte waarden, de waarden die voor het onderzoek worden gebruikt.

periode	raaien waarvoor verplaatsingen gelden	gem. totale verplaatsing (m)	gem. jaarlijkse verplaatsing (m)
1982-1986 (3,25 jaar)	4 - 14	29,64	9,12
1986-1991 (5 jaar)	4 - 14	26,09	5,22
	15 - 21	18,86	3,77
	4 - 21	23,28	4,66
1991-1995 (4 jaar)	4 - 14	13,73	3,43
	15 - 21	3,71	0,93
	22 - 34	12,85	3,21
	4 - 34	12,92	3,25

Tabel 4.2 Gemiddelde verplaatsing van de zwaartelijnen.

Uit tabel 4.2 blijkt dat de verplaatsing van de zwaartelijn qua snelheid afneemt in de tijd. Deze afname is ook geconstateerd bij de verplaatsing van de kam. Het lijkt er dus op dat de zanddam inderdaad naar een stabiele situatie gaat. Ook bij de verplaatsing van de zwaartelijn is de verplaatsing in het middelste gedeelte het kleinste. De inhoud van de zanddam heeft hier waarschijnlijk invloed op. Dit zal in paragraaf 4.8 worden nagegaan.

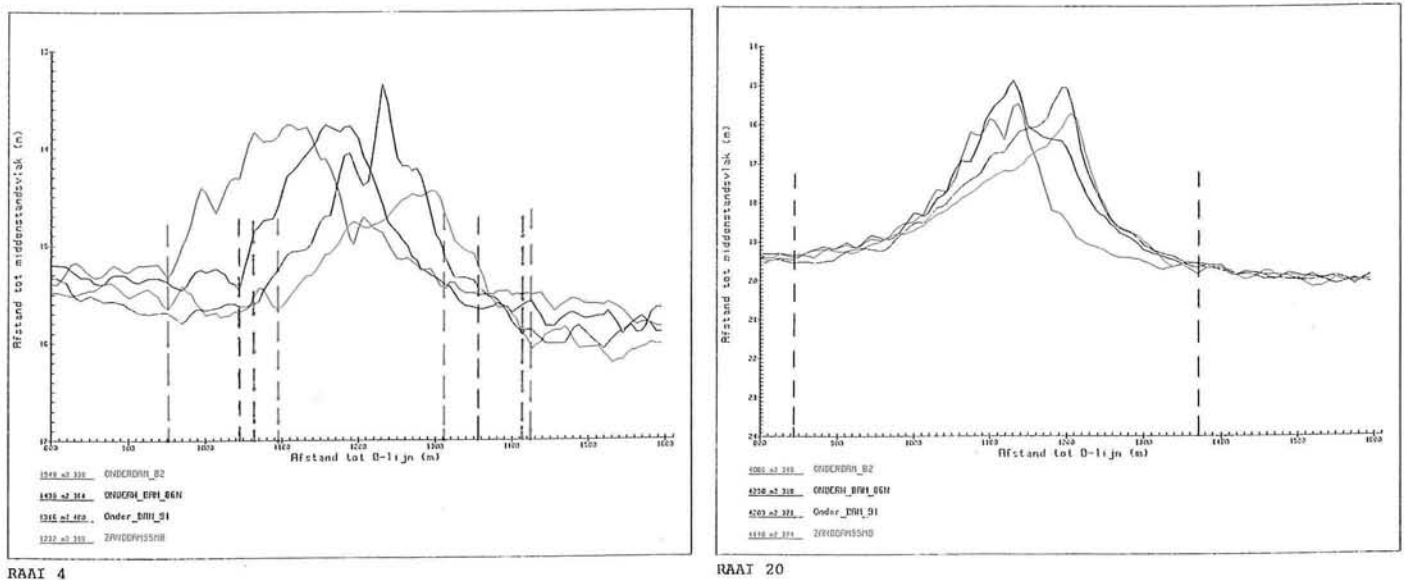
De totale verplaatsing van de zwaartelijnen van de zanddam vanaf de aanleg tot en met de loding van 1995 varieert tussen de 30 en de 140 m met een gemiddelde van 66 m. Evenals bij de verplaatsing van de kam treden er over de langsdoorsnede van de zanddam aanzienlijke verschillen op in de totale verplaatsing van de zwaartelijnen. Wel is het duidelijk waarneembaar dat de verplaatsing van de top van de zanddam per raai groter is dan de verplaatsing van de zwaartelijn van de zanddam. De verklaringen en de conclusies die daar aan verbonden kunnen worden, worden in paragraaf 4.8 besproken.

#### 4.4 Verplaatsing van de damvoeten.

Om te onderzoeken of de zanddam als geheel verplaatst of dat alleen de kam en de zwaartelijnen verplaatsen, is het noodzakelijk om de plaats van de damvoeten in beschouwing te nemen.

De plaats van de damvoet in een dwarsdoorsnede is bepaald door vanaf de top, de helling van de zanddam af te gaan tot de overgang gemaakt wordt naar de reguliere bodem. In figuur 4.7 zijn in verschillende dwarsdoorsneden van de zanddam de damvoeten aangegeven, zodat duidelijk wordt hoe de bepaling van de plaats van de damvoeten tot stand is gekomen.

Voor de overzichtelijkheid worden ook hier alleen de lodingen uit 1982, 1986, 1991 en 1995 in het onderzoek betrokken. De bijstortingen hebben op de plaats van de damvoeten te veel invloed gehad om de lodingen uit 1982 en 1986 in zijn geheel te kunnen gebruiken voor de analyse van de verplaatsing van de damvoeten. De indeling die in paragraaf 4.1 wordt genoemd, wordt hier aangehouden.

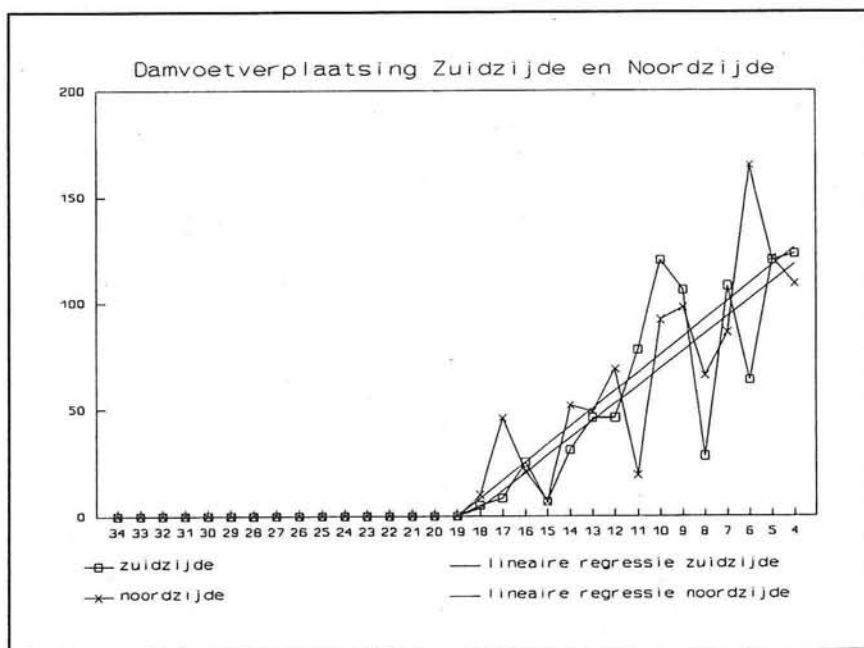


Figuur 4.7 Bepaling van de plaats en verschil in de verplaatsingen van de damvoeten.

Wanneer de dwarsdoorsneden van de zanddam bestudeerd worden, blijkt dat vanaf raai 4 tot en met raai 13 een duidelijke verplaatsing noordoostwaarts van beide damvoeten is waar te nemen in de loop der tijd. De verplaatsingsrichting is dus in de richting loodrecht op de as van de zanddam. Dit is tevens de richting van de overheersende getijstroom. Vanaf raai 14 tot en met raai 19 ontstaat er een soort overgangssituatie, waarin de verplaatsingen klein en onregelmatig qua richting zijn. Daarna blijft zowel de zuidelijke als de noordelijke damvoet op zijn plaats liggen. Uit de dwarsdoorsneden die in figuur 4.7 zijn opgenomen, is de verplaatsing van de zanddam als geheel in het ondiepe gedeelte en de constante ligging van de zanddam in het diepe gedeelte goed waar te nemen.

In figuur 4.8 zijn de totale verplaatsingen van de damvoeten over de periode 1982 tot en met 1995 weergegeven. Door middel van lineaire regressie zijn deze verplaatsingen van de damvoeten benaderd door een rechte lijn. Ook is in deze figuur te zien dat de verplaatsingen van de damvoeten aan de zuid- en noordzijde van de zanddam overeenkomsten vertonen.

Let wel, dit zijn alleen de verplaatsing van de damvoeten en niet de verplaatsingen van de zwaartelijnen en van de kam.



Figuur 4.8 Werkelijke en schematische weergave van de verplaatsing van de damvoeten.

Vanaf raai 4 tot en met raai 34 neemt de diepte ter plaatse van de damvoeten toe. Dit betekent dat de verplaatsing afneemt naarmate de zanddam op dieper water ligt. De omslag van verplaatsing van de damvoeten naar geen verplaatsing ligt ongeveer ter plaatse van raai 19. De diepte bij de damvoet in deze raai is ongeveer MV -19 m. Dit gegeven lijkt tevens een bevestiging op de begrenzing van de (actieve) kustzone, die in de praktijk wordt aangehouden. Voor de begrenzing van de (actieve) kustzone wordt een diepte van NAP -20 m aangehouden.

De lineaire afname van de verplaatsing van de damvoet wijst erop dat er een verdraaiing van de zanddam ten opzichte van de as van de zanddam optreedt. De totale verdraaiing die in de afgelopen 12,5 jaar is opgetreden, is  $4,85^\circ$ . Dit geeft een gemiddelde verdraaiing van  $0,4^\circ$  per jaar.



De verplaatsing van de damvoeten kan beïnvloed worden door de hoogte van de golven in verhouding tot de waterdiepte. De snelheden aan de bodem (en opwoeling) veroorzaakt door golven, wordt minder naarmate de waterdiepte toeneemt. Wanneer langsdoorsneden worden getekend ter plaatse van de damvoeten (zie bijlage H1), is te zien dat de diepte in de richting evenwijdig aan de as van de zanddam toeneemt. Grofweg kan het verloop van de bodem in drie maatgevende gedeelten worden opgedeeld:

- 1) Het eerste gedeelte begint in raai 4 en eindigt in raai 9. Dit gedeelte is relatief gezien het steilst, ongeveer 1:150.
- 2) Het tweede gedeelte begint in raai 9 en eindigt in raai 16. Dit gedeelte is het minst steil. De helling is ongeveer 1: 2250.
- 3) Het derde gedeelte begint in raai 16 en eindigt in raai 34. In dit gedeelte is het verloop van de bodem een stuk steiler (ongeveer 1:500) dan in het tweede gedeelte, maar minder steil dan de bodemhelling in het eerste gedeelte. De verplaatsingen van de damvoeten zijn hier bij benadering gelijk aan nul.

De plaats van de overgang van een bodemhelling van 1:2250 naar 1:500 (raai 16) komt redelijk overeen met de eerder geconstateerde plaats van de overgang van wel naar geen verplaatsing van de damvoeten uit de lodingen (raai 19).

In bijlage H2 zijn berekeningen gemaakt om een indruk te krijgen van de golfinvloed in het overgangsgedeelte. Uit de berekeningen volgt dat voor 9 à 12 % van de tijd de golven in het overgangsgedeelte snelheden aan de bodem opwekken die groter zijn dan  $v_{krit}$ . Overigens kunnen de verschillen in inhoud van de zanddam misschien ook invloed hebben op de verplaatsing van de damvoet. Dit zal niet verder nagegaan worden, omdat de bepaling van de plaats van de damvoet en de methode waarop de kuberingen vastgesteld zijn, voor een dergelijke correlatie niet geschikt zijn.

#### **4.5 Verandering van de hoogte van de top.**

Bij de bepaling van de hoogteligging van de top is uitgegaan van het hoogste punt van de zanddam in de betreffende doorsnede. De hoogteligging is ten opzichte van het gemiddeld wateroppervlak gegeven (Middenstandsvlak = MV). Het MV is dus een andere term voor gemiddelde zeestand of gemiddelde waterstand [RWS, 1995]. De waarde die aan het MV wordt toegekend, is gelijk aan het slotgemiddelde van de gemiddelde waterstand. De algemene definitie voor het slotgemiddelde is [RWS, 1995]: de waarde van een grootheid op een bepaald tijdstip (doorgaans: het slot van een decennium) volgens een meerjarige trendlijn, na correctie voor zowel korte toevallige schommelingen als meerjarige astronomische fluctuaties.

Naast de bepaling van de hoogte van de top, is ook per doorsnede de hoogte van de zanddam ten opzichte van de bodem bepaald, zodat een relatieve hoogteverandering kan worden bekeken. In bijlage I zijn tabellen opgenomen met daarin:

- de hoogte van de top ten opzichte van MV,
- de verandering van de hoogte van de top tussen twee opeenvolgende lodingen,
- de hoogte van de zanddam ten opzichte van de bodem,
- de relatieve hoogteverandering van de top,
- de absolute verandering van de hoogte van de top.

Om de veranderingen van de top te beschrijven wordt uitgegaan van de indeling van de bruikbare gedeelten van de lodingen (zie paragraaf 4.1).

***Veranderingen van de hoogte tussen twee opeenvolgende lodingen:***

Wanneer de veranderingen van de top per lodingsinterval worden bekeken, wordt snel duidelijk dat over het verloop van de hoogte van de top in de tijd geen eenduidige conclusie te trekken is (zie bijlage I). Het gedrag van de top per lodingsinterval verschilt nogal. Ook het gedrag van de top over de langsdoorsnede van de zanddam is niet eenduidig. Zowel een groei als een afvlakking van de top kunnen elkaar in de langsrichting van de zanddam afwisselen tijdens eenzelfde periode.

In dit geval (veranderingen van de hoogte van de top) blijkt dat het niet mogelijk is om een beter beeld te krijgen van de veranderingen van de top wanneer over een langere periode naar de veranderingen gekeken wordt. De hoogteveranderingen zijn namelijk sterk afhankelijk van de periode (begin- en eindloding) die wordt gekozen. Wel is de totale verandering van de hoogte van de top ten opzichte van de referentielodging nagegaan (zie tabel 4.3) evenals de gemiddelde jaarlijkse hoogteveranderingen die uit deze totale veranderingen volgen. Onder een referentieloding wordt verstaan de loding ten opzichte waarvan de hoogteveranderingen kunnen worden berekend. Voor de raaien 4 tot en met 14 is dit de loding uit 1982, voor de raaien 15 tot en met 21 is dat de loding uit 1986 en voor de overige raaien is de loding uit 1991 de referentieloding. De vetgedrukte waarden, zijn de gemiddelde hoogteveranderingen per jaar over de periode die loopt van de referentieloding tot en met de loding van 1995.

Uit tabel 4.3 is op te maken dat de hoogteveranderingen over de langsdoorsnede van de zanddam niet uniform zijn. Er zijn verschillende factoren die daar invloed op kunnen hebben. Met name de waterdiepte ter plaatse van de top en de hoogte van de zanddam, die beide variëren over de langsdoorsnede.

De hoogte van de top neemt duidelijk af in de loop van de tijd op raai 30 en 31 na. De jaarlijkse veranderingen van de hoogte van de top geven waarden die binnen het herhaalbaarheidsinterval liggen (zie bijlage I, tabellen I1, I2 en I3). Dit zou betekenen dat de geconstateerde veranderingen geen werkelijke veranderingen zijn, maar te wijten zijn aan onnauwkeurigheden tijdens het loden. Op de lange termijn (zie tabel 4.3) hebben er wel degelijk zichtbare veranderingen plaatsgevonden in de hoogte van de zanddam, zodat geconcludeerd kan worden dat de jaarlijkse hoogteveranderingen inderdaad werkelijke veranderingen zijn.

tov 1982		gem. $\Delta h/j$	tov 1986		gem. $\Delta h/j$	tov 1991		gem. $\Delta h/j$
raai	(dm)	(dm)	raai	(dm)	(dm)	raai	(dm)	(dm)
4	-8,80	<b>-0,70</b>	15	-4,10	<b>-0,46</b>	22	-1,60	<b>-0,40</b>
5	-8,20	<b>-0,66</b>	16	-9,30	<b>-1,03</b>	23	-1,40	<b>-0,35</b>
6	-8,50	<b>-0,68</b>	17	-0,70	<b>-0,08</b>	24	-9,00	<b>-2,25</b>
7	-11,20	<b>-0,90</b>	18	-8,50	<b>-0,94</b>	25	-4,90	<b>-1,23</b>
8	-6,50	<b>-0,52</b>	19	-6,20	<b>-0,69</b>	26	-4,90	<b>-1,23</b>
9	-14,70	<b>-1,18</b>	20	-10,80	<b>-1,20</b>	27	-3,60	<b>-0,90</b>
10	-13,80	<b>-1,10</b>	21	-12,90	<b>-1,43</b>	28	-5,50	<b>-1,38</b>
11	-2,00	<b>-0,16</b>				29	-0,40	<b>-0,10</b>
12	-6,60	<b>-0,53</b>				30	1,20	<b>0,30</b>
13	-2,10	<b>-0,17</b>				31	1,13	<b>0,28</b>
14	-3,30	<b>-0,26</b>				32	-0,10	<b>-0,03</b>
						33	-0,40	<b>-0,10</b>
						34	-0,90	<b>-0,23</b>

Tabel 4.3 Gemiddelde hoogteverandering van de zanddam per raai.

Verder kan nog opgemerkt worden dat in de lodingsintervallen 1990-1991 en 1992-1993 een groei van de hoogte van de top van de zanddam over de gehele lengte van de zanddam heeft plaats gevonden. Dit is een fenomeen dat ook bij zandgolven voorkomt. Wanneer deze toename van de hoogte van de top in relatie zou staan met de windomstandigheden tijdens dit lodingsinterval, dan zou ten opzichte van de andere jaren minder stormen moeten zijn opgetreden. Dit is voor de periode 1990-1991 inderdaad het geval (zie bijlage C1). Het lodingsinterval 1992-1993 is echter het lodingsinterval waarin de meeste stormen zijn voorgekomen. Een goede relatie tussen de windomstandigheden en de verhoging van de top van de zanddam is niet direct te constateren.

***De relatieve hoogteverandering van de hoogte van de top:***

Door de hoogteveranderingen te relateren aan de hoogte van de zanddam, ontstaat een relatieve hoogteverandering (hoogteverandering van lodingsinterval/hoogte van de zanddam oudste loding). In bijlage I (tabel I4) is een overzicht gegeven van de relatieve hoogteveranderingen per lodingsinterval.

Het blijkt dat ook de relatieve hoogteveranderingen per lodingsinterval over de langsdorsnede van de zanddam geen eenduidig beeld geven. De hoogte van de zanddam heeft dus geen invloed op de hoogteveranderingen van de zanddam.

***Hoogteverandering ten opzichte van de afstand van de top tot het wateroppervlak:***

De diepte waarop de top van de zanddam ligt is van belang voor de variaties in de hoogte van de top, omdat de stroomsnelheden en de golfvloed diepte afhankelijk zijn. In bijlage I (tabel I5) is een overzicht gegeven van hoogteverandering van de top ten opzichte van de waterdiepte ter plaatse van de top. Er blijkt geen eenduidig beeld te bestaan tussen de waterdiepte en de hoogteveranderingen.

***De absolute hoogteverandering van de top:***

Om een indruk te krijgen van de grootte van de hoogteveranderingen, is een tabel met absolute waarden van de hoogteveranderingen in bijlage I (tabel I6) opgenomen. Per raai is over de periode van 1982 tot en met 1995 de gemiddelde verandering per lodingsinterval berekend. Ook volgt uit dit overzicht dat de zanddam in drie delen is op te delen. Deze indeling komt overeen met de in paragraaf 4.1 beschreven indeling.

De gemiddelde absolute hoogteveranderingen per lodingsinterval van de zanddam zijn in tabel 4.4 gegeven.

	gem. abs. hoogteverandering (m)
raai 4-14	0,21
raai 15-21	0,42
raai 22-34	0,26

Tabel 4.4 Grootte van de gemiddelde veranderingen van de top van de zanddam per jaar.

De absolute veranderingen in het diepste gedeelte van de zanddam blijken ongeveer even groot te zijn als de absolute veranderingen in het ondiepste gedeelte. Waarschijnlijk hebben de megaribbels invloed op de hoogteveranderingen en dus zeker op de absolute hoogteveranderingen. Wat niet te verklaren is, is dat de veranderingen in het middengedeelte het grootste zijn. De grootste veranderingen zijn namelijk in het ondiepste gedeelte te verwachten. Misschien spelen ook complexe stromingen ter plaatse van de zanddam een grote rol in de hoogteveranderingen. Geconcludeerd kan worden dat de hoogteveranderingen geen correlatie hebben met de onderzochte afzonderlijke invloedsfactoren.

Uit de extra lading die op 11 en 12 september 1995 is uitgevoerd, is gebleken dat op de zuidflank van de zanddam megaribbels voorkomen. Deze megaribbels zullen zeker invloed hebben op de hoogteveranderingen van de zanddam als ze zich verplaatsen over de zanddam.

Aangezien de megaribbels, die op de zanddam voorkomen, een hoogte van 2 tot 5 dm hebben, kan dit tot aanzienlijke variaties in de hoogte van de top van de zanddam leiden. Tijdens de ene loding kan bijvoorbeeld een top van een megaribbel zich op de top van de zanddam bevinden, terwijl tijdens de opvolgende loding een dal van een megaribbel zich op de top van de zanddam bevindt.

Wat met zekerheid over de hoogteveranderingen van de top van de zanddam gezegd kan worden, is dat de hoogte van de zanddam over de periode van 12,5 jaar duidelijk is afgenomen met gemiddeld 0,72 dm per jaar.

#### **4.6 Verandering van de hellingen.**

##### **4.6.1 Inleiding.**

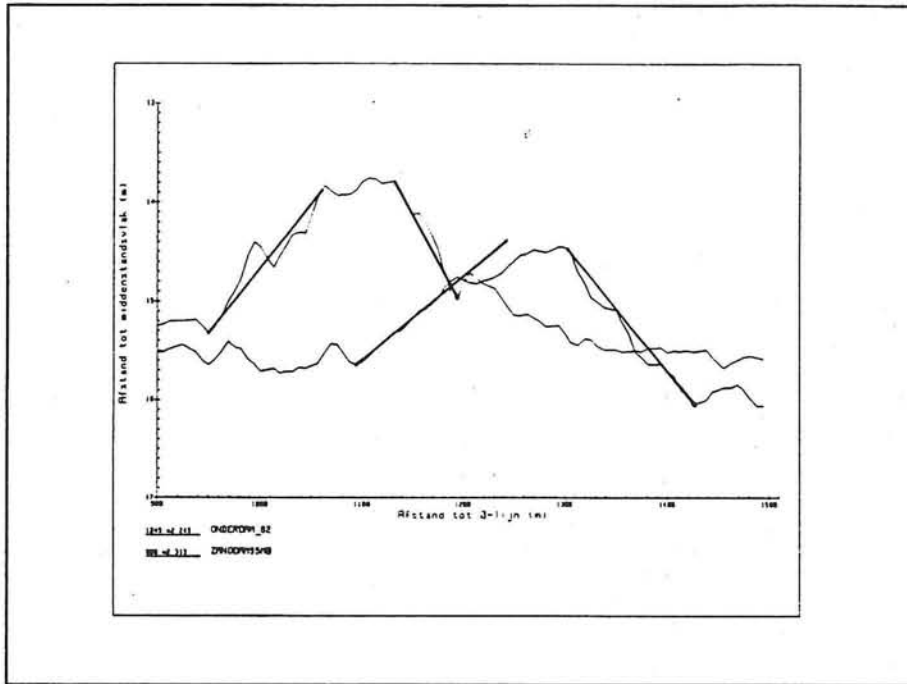
In deze paragraaf wordt ingegaan op de veranderingen van de hellingen van de zanddam in de tijd (4.6.2) en op de veranderingen van de hellingen in het lodingsgebied in de richting evenwijdig aan de as van de zanddam (4.6.3). De hellingen in het lodingsgebied evenwijdig aan de zanddam kunnen van belang zijn voor evenwichtshellingen die op deze diepten voorkomen in de richting loodrecht op de overheersende getijstroomrichting. De evenwichtshellingen kunnen van belang zijn voor kustuitbereidingen.

##### **4.6.2 Hellingen van de zanddam.**

Om de vorm en de vormveranderingen van de zanddam te kunnen volgen, zijn de hellingen aan de zuid- en noordzijde van de zanddam van belang. Bijstortingen kunnen een grote invloed op de helling van de zanddam hebben, zodat voor de beschrijving van de steilheid van de hellingen ook niet alle lodingsgegevens gebruikt kunnen worden. Het gedeelte dat voor de bepaling van de helling geschikt is, komt overeen met de indeling zoals in paragraaf 4.1 is vermeld. Het bepalen van de helling aan de zuid- en noordzijde van de zanddam is van belang voor het vaststellen van "evenwichtshellingen" (wanneer deze er zijn) van zandlichamen op een bepaalde diepte.

Het bepalen van een helling van de zanddam gaat als volgt (zie ook figuur 4.9):

In de dwarsdoorsnede van de zanddam wordt de helling van de zanddam benaderd door een rechte lijn. De basispunten voor deze lijn zijn in principe de damvoet en de top van de zanddam. Aangezien de top soms vrij breed is, wordt in zo'n geval het meest linkse dan wel het meest rechtse punt van de top als basispunt genomen. Wanneer in de werkelijke helling van de zanddam duidelijk een knik te constateren is, wordt het bovenste gedeelte van de helling maatgevend verondersteld.



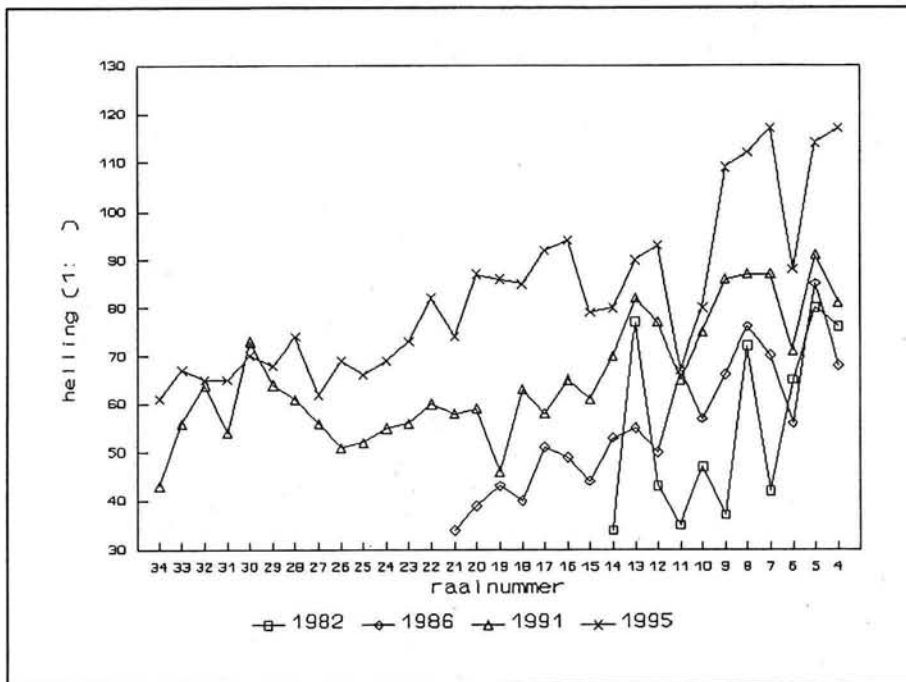
Figuur 4.9 Methode voor de bepaling van de hellingen van de zanddam.

**Helling aan de zuidzijde:**

In figuur 4.10 is het verloop in de tijd van de helling over de lengte van de zanddam aan de zuidzijde weergegeven. Het blijkt dat de helling aan deze zijde in de tijd afneemt (flauwer wordt). Dit is te verklaren wanneer de richting van de reststroom in beschouwing wordt genomen. De reststroom is naar het noorden gericht. Ook kan opgemerkt worden dat de helling in het diepe gedeelte steiler is dan in het ondiepe gedeelte. Dit heeft tot gevolg dat de gemeten waarden kunnen worden benaderd door een rechte lijn (zie bijlage J1).

Verklaringen voor de steilere helling in het diepere gedeelte kunnen zijn:

- 1) De stroming in het ondiepe gedeelte, dat zich dichterbij de kust bevindt, is groter dan de stroming in het dieper gelegen gedeelte waardoor het zandtransport en dus het afvlakkingseffect groter is.
- 2) In het ondiepe gedeelte is de golfinvloed groter dan in het dieper gelegen gedeelte van de zanddam. Door de invloed van de golven kan het zand naar beide flanken getransporteerd worden (afname van de hoogte van de top).



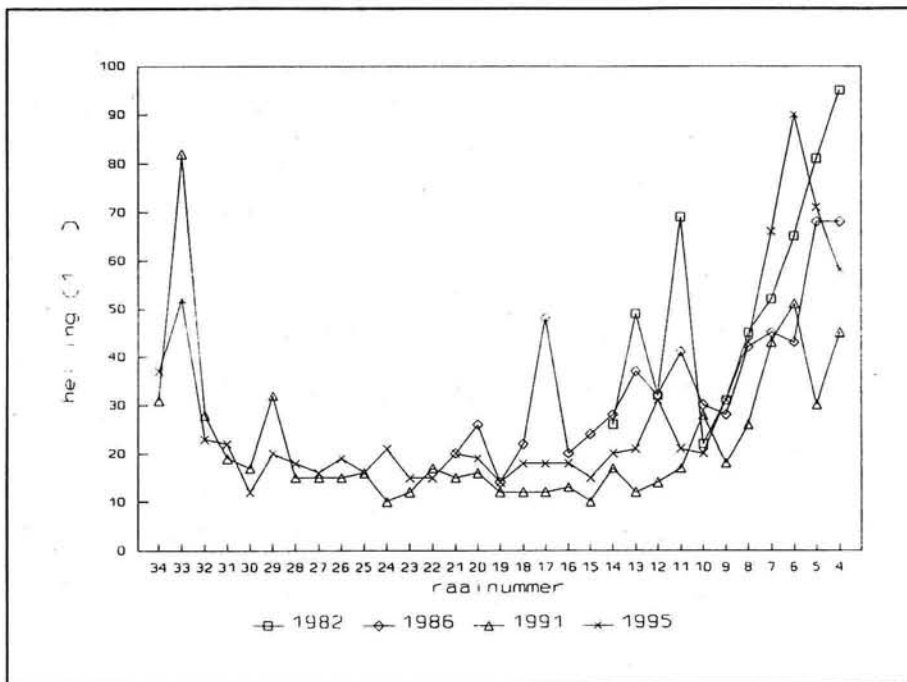
Figuur 4.10 Helling per raai aan de zuidzijde van de zanddam.

De helling aan de zuidzijde varieert van 1:60 in raai 34 (diepe gedeelte) tot 1:120 in raai 4 (ondiepe gedeelte). Er kunnen geen definitieve uitspraken gedaan worden over de uiteindelijke helling die de zanddam aan de zuidzijde zal aannemen. Aan het einde van deze paragraaf wordt daar nader op ingegaan.

#### **Helling aan de noordzijde:**

Omdat de reststroom naar het noorden toe gericht is, is de verwachting dat aan de noordzijde de helling steiler zal worden. Deze verwachting is mede gewekt door de snellere verplaatsing van de kam ten opzichte van de verplaatsing van de zwaartelijnen van de zanddam. In figuur 4.11 wordt het verwachte proces gedeeltelijk bevestigd. Aan de noordzijde is echter in tegenstelling tot de zuidzijde geen duidelijk lineair proces waar te nemen. Het verloop van de helling aan de noordzijde benadert de vorm van een parabool met een breed dal.

In de periode 1982 tot en met 1991 is een duidelijke versteiling van de helling aan de noordzijde te constateren. Van 1991 tot en met 1995 is de helling echter weer afgevlakt over de hele langsdoorsnede van de zanddam. Om deze reden is in bijlage J2 het verloop van de helling aan de noordzijde voor de periode 1991-1995 opgenomen van alle tussenliggende jaren. Uit de figuur die in bijlage J2 is opgenomen, volgt dat in de betreffende periode de helling voor wat het middengedeelte (raai 10 tot raai 31) betreft, varieert tussen een helling van 1:10 en 1:30.



Figuur 4.11 Helling per raai aan de noordzijde van de zanddam.

Dit wijst er op dat de "evenwichtshelling" van de zanddam in dit interval ligt. Of de zanddam deze ogenschijnlijke "evenwichtshelling" aanhoudt, kan niet direct geconcludeerd worden. Het kan zo zijn dat de top van de zanddam zich sneller blijft verplaatsen dan de noordelijke damvoet, waardoor het zand van de top langs de noordelijke helling naar de damvoet aan de noordzijde wordt getransporteerd. Als er meer zand ter plaatse van de damvoet aan de noordzijde terecht komt dan dat er verdwijnt, zal er een groei van de hoeveelheid zand ter plaatse van de damvoet aan de noordzijde plaatsvinden. Deze toename kan tot een afvlakking van de helling aan de noordzijde leiden.

Het lijkt waarschijnlijk dat de helling aan de noordzijde tussen de 1:10 en 1:30 zal blijven variëren. Hierover kunnen pas harde uitspraken worden gedaan over een aantal jaren (bijvoorbeeld 10 jaar), omdat de verplaatsing die optreedt als gevolg van het genoemde proces waarschijnlijk te langzaam verloopt om dit in de eerste drie jaar in lodingen terug te vinden. Dit heeft vooral met de horizontale lodingsnauwkeurigheid te maken.

Vanaf raai 30 tot en met raai 34 is de noordhelling over het algemeen in de loop der jaren ook steiler geworden. In dit gebied heeft de noordelijke helling waarschijnlijk nog niet zijn "evenwichtprofiel" bereikt. Dit zou als volgt verklaard kunnen worden:



- 3) Na de aanleg van de zanddam, die een verstoring in het gebied is, zal deze een "evenwichtsvorm" willen aannemen. Het aannemen van de "evenwichtsvorm" neemt een bepaalde tijdsperiode in beslag. Doordat in het diepere gedeelte van de zanddam in de periode 1982 tot en met 1986 nog zand is bijgestort, zal dit gedeelte van de zanddam later zijn "evenwichtsvorm" bereiken.
- 4) Een tweede mogelijke verklaring kan zijn dat de zanddam aan de uiteinden (raai 24 en raai 4) anders belast wordt door de getijstroming.

In raai 4 tot en met raai 9 is de helling tijdens de periode 1991-1995 flauwer geworden. Verklaring 2, die eerder genoemd is bij de beschrijving van de helling aan de zuidzijde van de zanddam, en bovengenoemde verklaring 4 zouden hierop van toepassing kunnen zijn.

Uit deze paragraaf is gebleken dat over eventuele "evenwichtshellingen" aan beide zijden van de zanddam nog geen definitieve uitspraken kunnen worden gedaan. De tijd dat de zanddam bemeten is, is nog niet lang genoeg. Over een aantal jaren zal over het aannemen van een "evenwichtshellingen" waarschijnlijk meer gezegd kunnen worden.

#### **4.6.3 Hellingen in het lodingsgebied evenwijdig aan de as van de zanddam.**

In verband met het vaststellen van evenwichtshellingen loodrecht de overheersende getijstroomrichting op bepaalde diepten, nadat er een verstoring is aangebracht, kunnen de hellingen in de richting evenwijdig aan de as van de zanddam van belang zijn. In bijlage J3 zijn een aantal doorsneden in de richting evenwijdig aan de as van de zanddam gegeven. De waarden voor de helling die uit de figuren zijn bepaald, zijn in tabel 4.5 weergegeven.

afstand uit 0-lijn	raai 4 - raai 9	raai 10 - raai 16	raai 17 - raai 34
200 m	1:265	1:2075	1:380
600 m	1:200	1:1740	1:385
900 m	1:155	1:1380	1:400
1400 m	1:160	1:2775	1:525
1600 m	1:135	1:425	1:330/1:1060
2100 m	1:190	1:595	1:545

Tabel 4.5 Hellingen in de richting evenwijdig aan de zanddam.

Hieruit blijkt dat er verschillen in het hellingsverloop ten zuiden en ten noorden van de zanddam zijn.

Het verloop van de helling over een lengte van 3000 m is in drie maatgevende delen op te splitsen voor zowel het verloop van de helling aan zuidzijde als aan de noordzijde van de zanddam. De hellingen in deze drie maatgevende delen komen overeen met de hellingen van de drie delen zoals in paragraaf 4.4 vermeld zijn. Verder valt op dat er geen grote veranderingen plaatsvinden in het verloop van de hellingen in de tijd (zie bijlage J3).

In het gebied komen dus verschillende hellingsverlopen voor. De maximale helling die gevonden wordt, is ongeveer 1:135 en de minimale helling is ongeveer 1:2800. Voor de helling die in de genoemde richting door de zanddam wordt aangenomen, wordt een helling van ongeveer 1:150 gevonden (zie laatste twee figuren in bijlage J3).

## **4.7 Veranderingen van de kuberingen.**

### **4.7.1 Inleiding.**

Zoals reeds in paragraaf 3.3 is beschreven, is de beschikbare reeks van lodingen met twee verschillende meetsystemen opgenomen. Zodoende is er een correctie van 20 cm aangebracht op de lodingen van 1982, 1983, 1985 en 1986. De twee Loswal Noord lodingen, waarop de correctie ook van toepassing is, kunnen niet gebruikt worden om kuberingen te berekenen. Deze twee lodingen beslaan namelijk niet de gehele doorsnede van het lodingsgebied en voor de berekeningen van de kuberingen is dat wel noodzakelijk. Voor de uitwerking van de kuberingen wordt uitgegaan van de in paragraaf 4.1 genoemde indeling van de lodingen. Er worden kuberingen per strekkende meter berekend van de raaien. Dit wordt berekend voor de dwarsdoorsneden over 1800 meter van een raai (paragraaf 4.7.2) en voor de dwarsdoorsneden van de zanddam zelf (paragraaf 4.7.3). In paragraaf 4.7.4 wordt nagegaan of er een verband bestaat tussen de kuberingen van de dwarsdoorsneden van de zanddam zelf en de kuberingen over de gehele doorsnede van 1800 meter. Tenslotte worden in paragraaf 4.7.5 de verschil-kuberingen van het hele lodingsgebied berekend per lodingsinterval en over een langere periode.

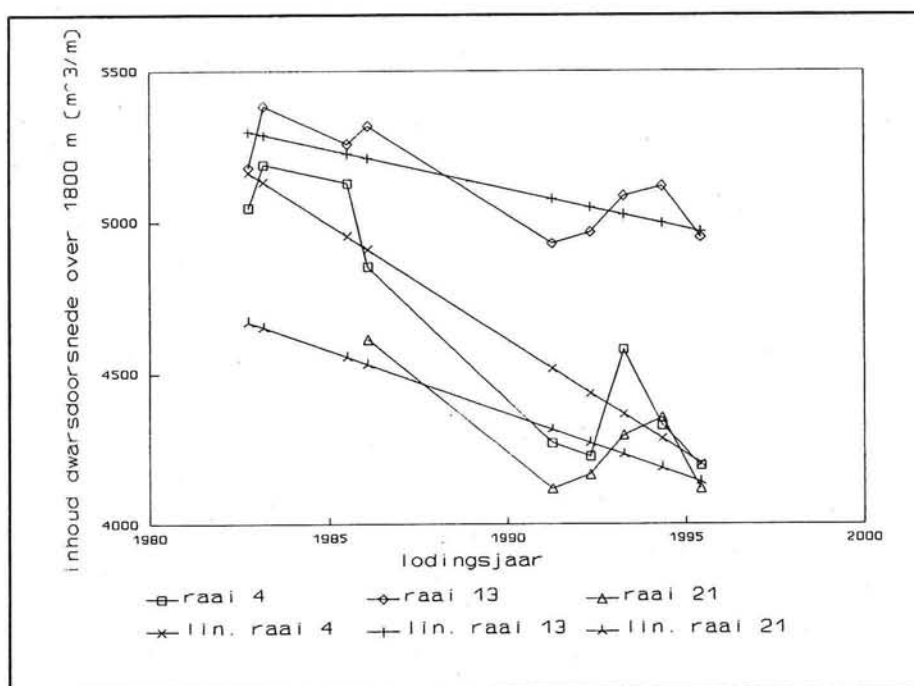
### **4.7.2 Kuberingen van de raaien over 1800 m.**

Om te onderzoeken of er een correlatie bestaat tussen de kuberingsveranderingen van de zanddam en het hele lodingsgebied waar de zanddam in ligt, worden de kuberingen van de hele doorsnede ook berekend. De dwarsdoorsnede loopt van 200 m tot 2000 m uit de 0-lijn (in totaal dus 1800 m). Een tabel met de berekende kuberingen is opgenomen in bijlage K1 (Tabel K1).

In figuur 4.12 zijn van een aantal raaien, de kuberingen in de tijd weergegeven. Het blijkt dat de kuberingen niet constant zijn in de tijd, maar in de tijd afnemen. Dit betekent dat er structurele erosie in de dwarsdoorsnede optreedt. De kuberingen van de dwarsdoorsneden per raai in de tijd kunnen worden benaderd door een rechte lijn. Dit is met behulp van lineaire regressie gedaan. Tot en met raai 21 is het verloop van de kuberingen in de tijd goed genoeg om deze te benaderen door een rechte lijn en kan in ieder geval lineaire regressie toegepast worden.

Dit wordt bevestigd door de grootte van  $\rho^2$  (zie tabel K3 in bijlage K1). Wanneer geldt:  $0,5 < \rho^2 < 1$ , kan in ieder geval lineaire regressie toegepast worden. Als  $\rho^2 < 0,5$  is, hoeft dit nog niet te betekenen dat er geen lineair verband is.

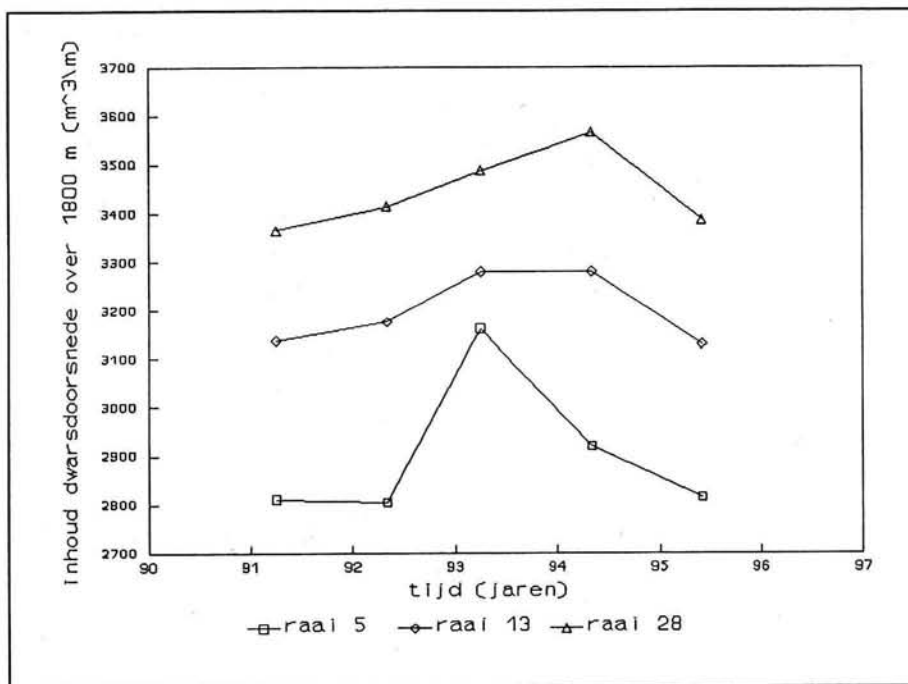
Vanaf raai 21 zijn alleen de gegevens van 1991 tot en met 1995 beschikbaar. Het verloop van de kuberingen in de tijd is te grillig om deze goed door één lijn te kunnen benaderen. Dit komt ook naar voren wanneer de waarde van  $\rho^2$  in beschouwing wordt genomen.



Figuur 4.12 Kuberingen over een dwarsdoorsnede van 1800 m.

Wanneer uitgegaan wordt van de benaderde rechte lijnen voor de kuberingen van de dwarsdoorsneden, kan worden geconcludeerd dat de gemiddelde richtingscoëfficiënt ongeveer gelijk is aan  $-32 \text{ (m}^3/\text{m/j)}/\text{j}$ . Dit leidt tot een gemiddelde structurele erosie van  $32 \text{ m}^3/\text{m/j}$  over een doorsnede van 1800 m (gemiddelde verlaging van de bodem van 1,77 cm in een jaar).

Wanneer de kuberingen die de periode 1991 tot en met 1995 beslaan, nader worden bestudeerd, is een duidelijke verschuiving van de top van de kubering zichtbaar. In raai 4 is de kubering maximaal in 1993. Dit maximum verschuift naarmate de raainummers hoger worden naar het jaar 1994 in raai 34. Dit verschijnsel is weergegeven in figuur 4.13. Om het overzicht in de figuur te behouden is van drie raaien het verloop van de kuberingen in de tijd weergegeven. Deze verschuiving van de maximale inhoud van de zanddam kan duiden op een zeewaarts gericht dwarstransport.



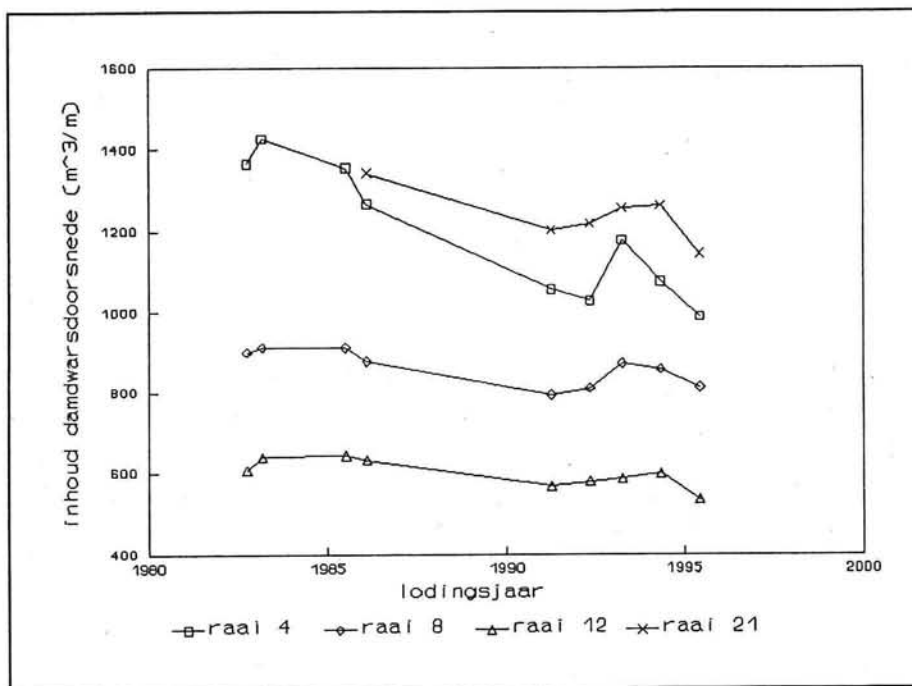
Figuur 4.13 Verschuiving van het maximum van de kuberingen in de periode 1991-1995.

#### 4.7.3 Kuberingen van de dwarsdoorsnede van de zanddam.

Voor de kuberingen van de dwarsdoorsnede van de zanddam is uitgegaan van een vaste doorsnede. Dit is voor het gedeelte waarin de damvoeten niet meer verplaatsen (vanaf raai 19) in ieder geval toegestaan. Omdat de verplaatsingen van de damvoeten in de raaien 14 tot en met 18 niet groot zijn, kan hier ook uitgegaan worden van een vaste doorsnede. In het overige gedeelte kan het beter zijn om de kuberingen ten opzichte van de individuele damvoeten te bepalen. Omdat dit ook tot onnauwkeurigheden kan leiden, is er gekozen om ook voor deze kuberingen een vaste doorsnede aan te nemen en wel van de zuidelijke damvoet van de loding uit 1982 tot en met de noordelijke damvoet van de loding uit 1995. De bepaling van de plaats van de damvoeten is in paragraaf 4.4 beschreven. In tabel K2 in bijlage K1 is een overzicht gegeven van de kuberingen van de damdwarsdoorsneden per loding.

In figuur 4.14 zijn van een aantal raaien de kuberingen van de damdwarsdoorsneden in de tijd weergegeven.

Evenals de kuberingen van de dwarsdoorsnede over 1800 m komt de structurele erosie van de zanddam in figuur 4.14 duidelijk naar voren. Ook deze kuberingen in de tijd kunnen worden benaderd door een rechte lijn.



Figuur 4.14 Kuberingen over de damdwarsdoorsnede.

Evenals voor de kuberingen over de dwarsdoorsnede van 1800 m wordt alleen lineaire regressie op de raaien 4 tot en met 21 toegepast. Voor de gemiddelde richtingscoëfficiënt van de benaderde lijnen volgt een waarde van  $-11 \text{ (m}^3/\text{m/j)}/\text{j}$ . Dit betekent een structurele erosie van  $11 \text{ m}^3/\text{m/j}$  over een breedte van de damdwarsdoorsnede. De damdwarsdoorsnede varieert per raai tussen de 350 en de 600 m (gemiddelde verlaging van de bodem tussen de 1,83 en 3,14 cm). Procentueel gezien varieert de afname van de inhoud van de zanddam over 12,5 jaar tussen de 4 en 28% (deze percentages zijn berekend per raai, uitgaande van de berekende richtingscoëfficiënten en de kuberingen van de zanddam van de referentielodingen). Dit zijn waarschijnlijk onderschattingen, gezien de methode waarop de kuberingen zijn bepaald.

#### 4.7.4 Correlatie tussen de kuberingen van de dwarsdoorsnede van de zanddam en de hele raai.

Wanneer het verloop van de kuberingen van de zanddam zelf met het verloop van de kuberingen van de hele dwarsdoorsnede van de raaien met elkaar vergeleken worden, wordt geconstateerd dat het verloop overeenkomstig is op een paar raaien na. In bijlage K2 zijn een aantal voorbeelden in figuren weergegeven. Deze overeenkomsten tussen de kuberingen van de zanddam en de kuberingen over een doorsnede van 1800 m betekenen dat het gedrag in de hele raai gelijk is aan het gedrag van het damgedeelte in dezelfde raai.

Om na te gaan of de veranderingen van de kuberingen van de zanddam even groot zijn als de veranderingen van de kuberingen over de gehele raaidoorsnede van 1800 m, worden de richtingscoëfficiënten van de benaderde rechte lijnen gebruikt om de gemiddelde hoogteveranderingen per damdwarsdoorsnede en doorsnede over 1800 m te berekenen (tabel K4 in bijlage K2). Hieruit volgt dat over de gehele raaidoorsnede de gemiddelde afname kleiner is dan de gemiddelde afname van alleen de zanddam. Dit houdt in dat gemiddeld genomen het hele gebied daalt, inclusief de zanddam, en dat de zanddam daar bovenop een extra verlies van zand ondervindt. Dus wanneer de gehele doorsnede sedimenteert, erodeert of in evenwicht is, speelt hetzelfde proces zich ook af bij de zanddam. Dit zou kunnen wijzen op:

- Onnauwkeurige lodingen:

Om duidelijkheid te krijgen of het aan de nauwkeurigheid van de lodingen ligt, zijn de raaien opgesplitst in meerdere delen (ten zuiden van de zanddam, de zanddam zelf en ten noorden van de zanddam). Tevens zijn de veranderde hoeveelheden ( $m^3$ ) omgerekend naar een gemiddelde verhoging/verlaging van de bodem over de betreffende doorsnede. De verhoging/verlaging aan de zuid- en noordzijde en op de zanddam zelf zijn op een paar uitzonderingen na in dezelfde orde van grootte en vallen soms binnen de herhaalbaarheid (ongeveer  $\pm 1,1$  dm). Door steekproefsgewijs stukjes doorsnede te bestuderen, kan ook gecontroleerd worden of de geconstateerde veranderingen werkelijke veranderingen zijn. Wanneer over een langere periode duidelijk veranderingen zijn waar te nemen, die buiten de herhaalbaarheid vallen, vervalt de optie dat de veranderingen in het lodingsgebied een gevolg zijn van onnauwkeurigheden tijdens het loden. Het blijkt dat er duidelijk veranderingen zijn waar te nemen die buiten de herhaalbaarheid vallen. Dit betekent dat de waarden die binnen de herhaalbaarheid vallen, werkelijke veranderingen zijn. De berekende herhaalbaarheid is dus goed en zou eventueel na een nadere bestudering aangepast kunnen worden.

- De zanddam heeft geen tot weinig invloed op de zandtransporten in de omgeving van het lodingsgebied:

De aanwijzing dat de zanddam geen tot weinig invloed heeft op de zandtransporten in de omgeving van het lodingsgebied lijkt reëel te zijn. Een bevestiging hiervan is dat uit de afzonderlijke kuberingen van de raaien een structurele erosie is geconstateerd. Het lodingsgebied zelf is dus geen gesloten systeem.

#### **4.7.5 Verschilkuberingen van het hele lodingsgebied.**

De verschilkuberingen zijn op de lodingsintervallen gebaseerd. Wanneer er sprake is van een "gesloten" gebied, zijn de verschilkuberingen ongeveer gelijk aan nul of valt de erosie c.q. sedimentatie per eenheid van oppervlak binnen de herhaalbaarheid. Dit is echter niet het geval. Er kan dus aangenomen worden dat de waarden die een erosie c.q. sedimentatie weergeven, inderdaad een erosie of sedimentatie zijn. De grootte van de waarden kan echter wel variëren. In tabel 4.5 zijn de verschilkuberingen per lodingsinterval van het lodingsgebied weergegeven.

lodingsinterval	resulterende $\Delta I$ (m <sup>3</sup> )	$\Delta I$ per jaar (m <sup>3</sup> /j)
1982-1983	772.146	1.853.150
1983-1985	- 461.209	- 197.661
1985-1986	- 330.470	- 566.520
1986-1991	- 1.415.437	- 283.087
1991-1992	127.487	117.680
1992-1993	420.411	458.630
1993-1994	176.759	163.162
1994-1995	- 484.391	- 484.391

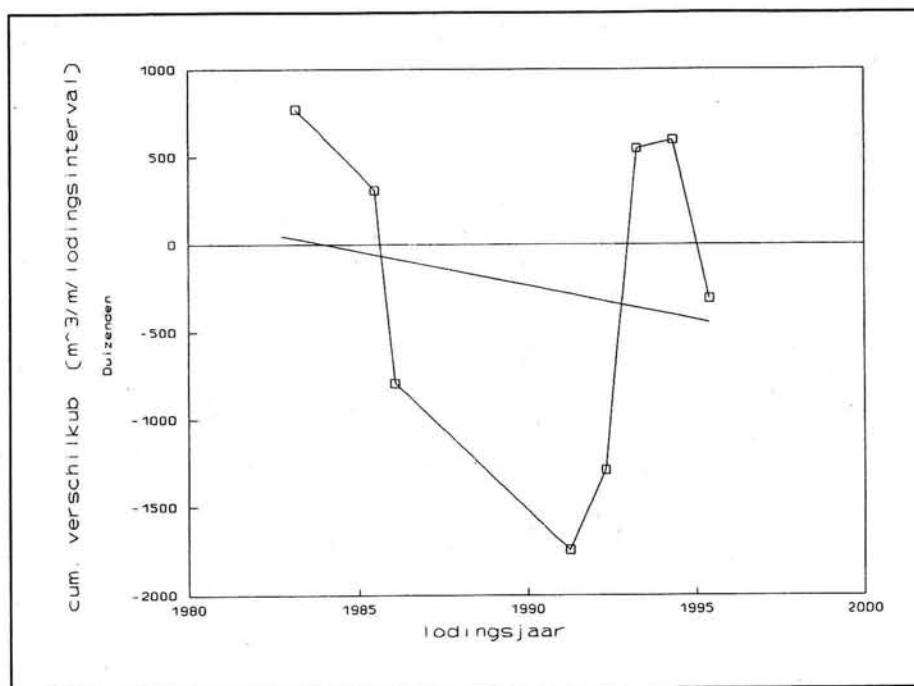
Tabel 4.5 Verschilkuberingen van het lodingsgebied.

Uit tabel 4.5 blijkt dat de verschilkuberingen per lodingsinterval een verschillend beeld geven van de opgetreden veranderingen in het gebied. Dit kan niet aan de lodingsnauwkeurigheid worden toegeschreven (zie begin van deze paragraaf). Naast de dagelijks optredende stromings- en golfcondities hebben factoren zoals wind (met name stormen), golven en afvoer van de Rijn ook invloed op de processen die zich in het lodingsgebied afspelen. Vooral het samenspel van deze factoren is van belang.

De waarden die in tabel 4.5 vermeld zijn (tweede kolom), worden in figuur 4.15 cumulatief uitgezet tegen de tijd. Uit figuur 4.15 blijkt dat er over 12,5 jaar een gemiddelde jaarlijkse erosie optreedt van 40.000 m<sup>3</sup>/j.

In subparagraaf 5.7.4 is gebleken dat tussen veranderingen van de kuberingen van de zanddam en de veranderingen van de kuberingen van de dwarsdoorsneden over 1800 m een verband bestaat. Om te onderzoeken of er ook een verband in de richting evenwijdig aan de zanddam bestaat, is het lodingsgebied opgedeeld in verschillende vakken. Het verband tussen de vakken loodrecht op de zanddam wordt ook bestudeerd. De verdeling van de vakken is in bijlage K3 gegeven. Aan de hand van de verschilkuberingen per lodingsinterval van de verschillende vakken kan een eventueel verband tussen de vakken geconstateerd worden. De richtingen van het zandtransport (dwars- of langtransport) kunnen niet uit de berekende verschilkuberingen vastgesteld worden.

Per vak kan de hoeveelheid geërodeerd en gesedimenteerd zand bepaald worden. Hieruit kan vervolgens de resulterende erosie of aanzanding berekend worden per vak.



Figuur 4.15 Resulterende erosie in het lodingsgebied.

***Vakken in de richting evenwijdig aan de zanddam:***

Over de periode van 1991 tot en met 1995 worden de vakken bestudeerd die evenwijdig aan de zanddam gesitueerd zijn. In bijlage K4 zijn staafdiagrammen gegeven van de verschillende series. Een serie bestaat uit zes vakken die alle op dezelfde afstand aan dezelfde zijde van de zanddam liggen en evenwijdig aan de as van de zanddam liggen. Ook zijn in bijlage K4 cumulatieve grafieken gegeven van de resulterende erosie/sedimentatie per vak.

Er zou sprake kunnen zijn van dwarstransport als het diepe gedeelte sedimenteert, terwijl het ondiepe gedeelte erodeert en vice versa. In een periode met relatief lage golven zal een wederopbouw van het kustprofiel plaats vinden, waardoor zand uit dieper gelegen gedeelten naar ondieper gelegen gedeelten wordt getransporteerd. In een periode met bijvoorbeeld hoge afvoeren van de Rijn zal een extra kustwaartse stroming aan de bodem optreden.

De vakken die met elkaar vergeleken worden, zijn ongeveer even groot, waardoor per vak het aantal m<sup>3</sup> erosie en sedimentatie kan worden gebruikt voor de vergelijking van de veranderingen die plaats hebben gevonden. Uit de staafdiagrammen (bijlage K4) blijkt dat over het algemeen de veranderingen qua grootte verschillen, maar qua teken gelijk zijn. Ook is de hoeveelheid geërodeerd zand, niet geheel terug te vinden in de overige vakken evenwijdig aan de zanddam. Dit betekent dat er zowel dwars- als langstransport plaatsvindt.



In de cumulatieve grafieken (zie bijlage K4) is te zien dat er structurele erosie optreedt in de richting evenwijdig aan de zanddam.

***Vakken in de richting loodrecht op de zanddam:***

In de richting loodrecht op de zanddam is het oppervlak van de verschillende vakken niet even groot. Daarom is gekozen voor een weergave van de veranderingen in gemiddelde hoogteveranderingen.

De bijbehorende grafieken zijn in bijlage K5 weergegeven. Voor de vakken A tot en met F kunnen alle lodingen gebruikt worden. Voor de overige vakken zijn alleen de lodingen vanaf 1991 geschikt. Over het algemeen zijn de veranderingen in de vakken waar de zanddam in ligt het grootste, wat voor de hand ligt. De bodem ter plaatse van de zanddam ligt tenslotte ondieper, waardoor er dus meer invloed van de golven aanwezig is aan de bodem (orbitaalbeweging).

De veranderingen die tijdens de verschillende lodingsintervallen optreden, zijn per vak bij benadering in dezelfde orde van grootte, behalve voor de lodingsintervallen 1993-1994 en 1994-1995. Vooral in de periode 1993-1994 is een duidelijk verschil tussen resulterende erosie/aanzanding van de vakken van een serie te zien (een voorbeeld van een serie is: de vakken A, B, C, D en E). Voor elke serie treedt in dit lodingsinterval hetzelfde proces op. Het proces dat in deze periode wordt geconstateerd, kan wijzen op een langstransport (transport loodrecht op de zanddam). Wanneer per lodingsinterval de series van vakken worden bekeken, blijkt dat in de verschillende series zich dezelfde processen afspelen.

#### **4.8 Relatie tussen de verschillende onderzoeksaspecten.**

##### **4.8.1 Inleiding.**

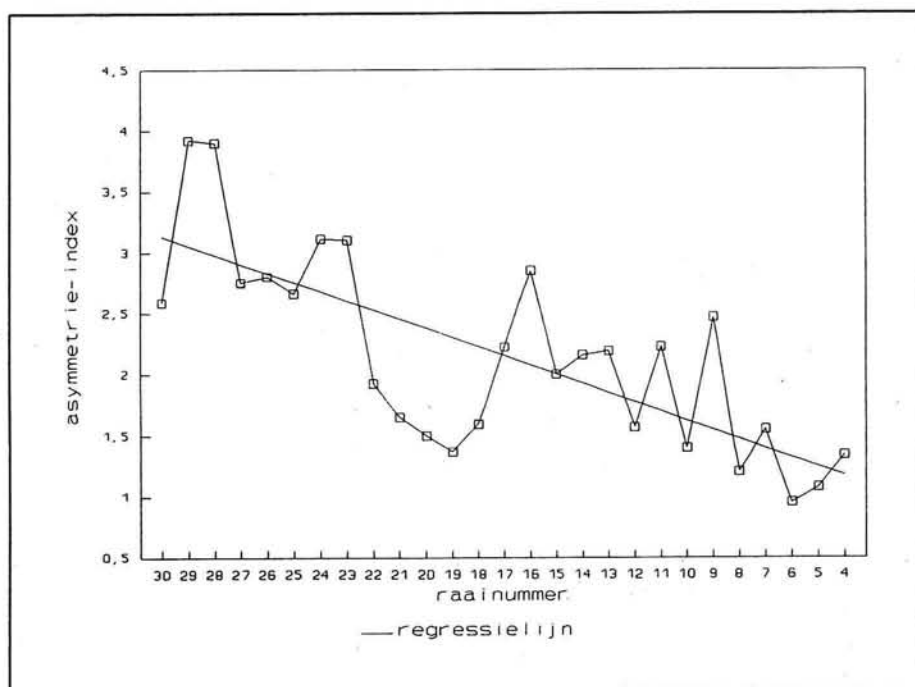
Voor het onderzoek naar de stabiliteit van de zanddam is het van belang om de relatie en correlatie van de verschillende onderzochte aspecten te bestuderen. Wanneer er bepaalde verbanden tussen de aspecten bestaan, kunnen er conclusies getrokken worden en adviezen gegeven worden met betrekking tot de stabiliteit en de levensduur van de zanddam. Dit is onder andere van belang als een zanddam, die bij benadering loodrecht op de overheersende getijstroomrichting ligt, een onderdeel gaat vormen van een slibberging. In subparagraaf 4.8.2 wordt de relatie tussen de verplaatsing van de zwaartelijnen, de verplaatsing van de kam en de helling beschreven. Deze aspecten hebben alle te maken met de asymmetrie van de zanddam. Vervolgens wordt in subparagraaf 4.8.3 nagegaan of er een verband bestaat tussen de inhoud van de zanddam, de waterdiepte en respectievelijk de verplaatsing van de zwaartelijn en de veranderingen van de hoogte van de top van de zanddam.

#### 4.8.2 Relatie tussen de verplaatsing van de zwaartelijnen en de verplaatsing van de kam en tussen de zuid- en noordhelling van de zanddam.

De verplaatsingen van de zwaartelijnen en de kam geven een indicatie over de verplaatsing van de zanddam en de vorm van de zanddam. Aangezien de verplaatsingen van de zwaartelijnen en de kam in eenzelfde raai niet hetzelfde zijn, wijst dit op het asymmetrisch worden van de zanddam.

De verplaatsingen kunnen uitgedrukt worden in een quotiënt *verplaatsing top/verplaatsing zwaartelijn* (= *asymmetrie-index*).

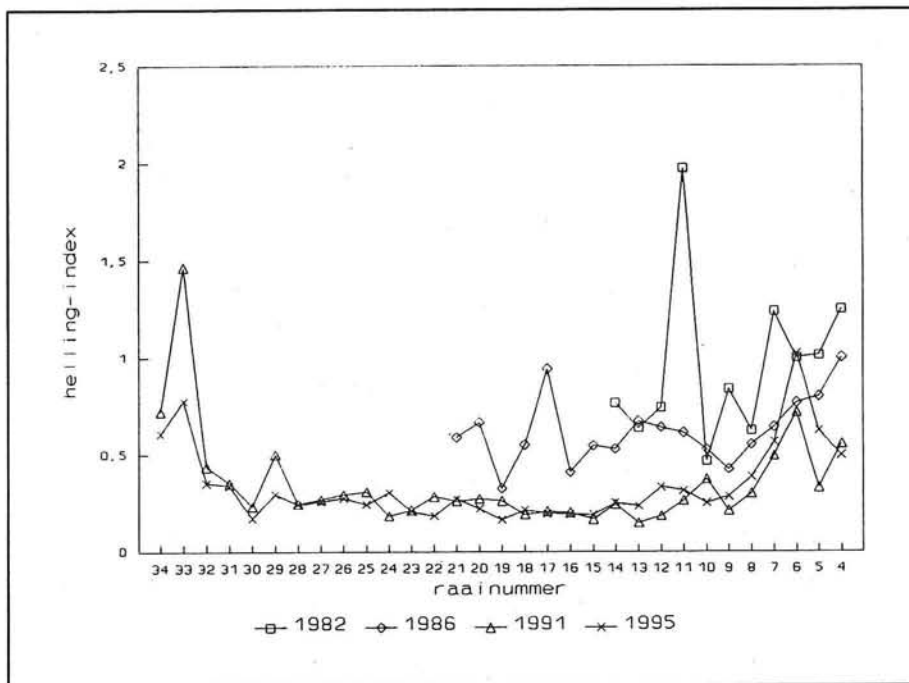
In dit geval wordt voor het quotiënt uitgegaan van de periode 1982 tot en met 1995. Als de asymmetrie-index groter wordt, betekent dit dat de verplaatsing van de top in een bepaalde raai sneller verloopt dan die van de zwaartelijn en dus de asymmetrie van de zanddam groter wordt. De asymmetrie-index over de periode 1982 tot en met 1995 kan benaderd worden door een rechte oplopende lijn van raai 4 naar raai 30 (figuur 4.16). Dit houdt in dat de asymmetrie van de zanddam toeneemt naarmate de zanddam op dieper water ligt. Dit wordt ook bevestigd door het verloop van de hellingen aan de zuid- en de noordzijde van de zanddam (zie paragraaf 4.6).



Figuur 4.16 Lineaire benadering van de asymmetrie-index.

Voor de helling kan ook een quotiënt berekend worden: *helling zuidzijde/helling noordzijde* = *helling-index* (figuur 4.17).

De helling-index kan ook een indicatie zijn voor de mate van asymmetrie van de zanddam. De helling aan de noordzijde is steiler dan die aan de zuidzijde. Wanneer de helling aan de noordzijde steiler wordt en de helling aan de zuidzijde afneemt of constant blijft, neemt de helling-index af. Als er symmetrie is, is de helling-index gelijk aan één. Als de helling aan de noordzijde steiler is dan de helling aan de zuidzijde is de helling-index altijd kleiner dan één.



Figuur 4.17 Helling-index.

In figuur 4.17 is te zien dat de helling-index vrijwel voor alle raaien kleiner dan één is. Zoals al eerder vermeld is, is de grootte van de helling-index een maat voor de asymmetrie van de zanddam. Hoe kleiner de helling-index, hoe groter de asymmetrie van de zanddam.

Uit figuur 4.16 (asymmetrie-index) en 4.17 (helling-index) kan geconcludeerd worden dat de asymmetrie in de tijd toeneemt en dat de asymmetrie, wanneer de zanddam in dieper water ligt groter is dan wanneer hij in ondieper water gesitueerd is.

#### 4.8.3 Correlatie tussen de inhoud van de zanddam, de waterdiepte en respectievelijk de verplaatsing van de zwaartelijnen en de hoogteveranderingen van de top van de zanddam.

In deze subparagraaf worden eerst de verplaatsingen van de zwaartelijnen nader bestudeerd.

Daarna zal nog enige aandacht besteed worden aan de de veranderingen van de hoogte van de zanddam.

***Verplaatsing van de zwaartelijn:***

De verwachting is dat de verplaatsing van de zwaartelijn afhankelijk is van de inhoud van de zanddam. Wanneer de waterdiepte constant is ter plaatse van de toppen zal de zwaartelijn van een zanddam met grotere inhoud zich langzamer verplaatsen in vergelijking met een zanddam met een kleinere inhoud. Over de lengtedoorsnede van de zanddam is de waterdiepte echter niet gelijk. Er zal dus zeker geen verband bestaan tussen de inhoud van de zanddam en de verplaatsing van de zwaartelijn.

Om een eventueel verband te kunnen vinden, moet de verplaatsing van de zwaartelijn naast de afhankelijkheid van de inhoud van de zanddam ook afhankelijk gemaakt worden van de waterdiepte.

Er blijkt geen enkel verband tussen de drie genoemde factoren te bestaan. Dit kan geconcludeerd worden na toepassing van lineaire regressie en na de drie factoren met behulp van een mathematisch software pakket (Maple) in een drie dimensionaal plaatje te hebben weergegeven.

In eerste instantie leek dit een vreemde conclusie. Na de basisgegevens nader te hebben bestudeerd, bleek dat de methode waarop de kuberingen zijn bepaald, niet geschikt is om de kuberingen voor een correlatie te gebruiken. Er is namelijk een te grote foutenmarge in de bepaalde kuberingen. Voor vergelijkingen van de kuberingen in eenzelfde raai, is dit geen belemmering.

***Hoogteveranderingen van de top:***

In paragraaf 4.5 zijn de veranderingen van de hoogte van de zanddam in de tijd besproken. Uit paragraaf 4.5 bleek dat er geen eenduidige verklaring te geven was voor de veranderingen van de hoogte van de top. Wel is duidelijk geworden dat de megaribbels die zich op de zuidflank van de zanddam bevinden, invloed hebben op de jaarlijkse hoogteveranderingen. Om na te gaan of de hoogteveranderingen ook afhankelijk zijn van de inhoud van de zanddam, is deze als extra factor toegevoegd. Zoals uit voorgaande is gebleken, zijn de kuberingen in de beschikbare vorm niet geschikt om voor de correlatie te gebruiken. Over een eventueel verband tussen de drie factoren kan dus geen uitspraak gedaan worden.

#### **4.9 De functie van de zanddam als slibvang en -geleider.**

De zanddam is destijds onder andere aangelegd om te onderzoeken of hij als slibvang- en/of slibgeleider kan dienen. In 1989 is door Hallie en Spanhoff een notitie geschreven over de functie van de zanddam als slibgeleider [Hallie en Spanhoff, 1989]. Hierin concluderen zij dat de zanddam niet als slibgeleider fungeert. Tijdens dit onderzoek is men er vanuit gegaan dat de zanddam in 7 jaar tijd geen veranderingen ondergaan heeft, wat niet geheel correct is. De conclusies met betrekking tot de functie van de zanddam als slibgeleider die in het rapport van Hallie en Spanhoff zijn gemaakt, zijn gebaseerd op een uitwerking van één methode.

Tijdens het onderzoek naar het gedrag van de zanddam is het onderzoek naar de functie van de zanddam als slibvang en/of -geleider geen hoofddoel. Wel zal enige aandacht aan dit onderwerp besteed worden, omdat de functie van de zanddam als slibvang- en/of geleider op een andere manier kan worden benaderd dan op de manier die door Hallie en Spanhoff is gehanteerd.

Om een indruk te krijgen of de zanddam als slibvang en/of -geleider functioneert, is tijdens de loding van 1995 een side-scan sonar opname gemaakt. Met behulp van de side-scan sonar kan slib gedetecteerd worden. Slib en zand zijn namelijk te onderscheiden door de verschillende grijstonen die geregistreerd worden. Wanneer gedeelten van de bodem uit slib en andere gedeelten uit zand bestaan, wordt het slib lichter dan het zand weergegeven (slib absorbeert het signaal en zand zorgt voor een harde terugkaatsing hiervan). Op het moment dat de bodem geheel uit zand bestaat en er slibdeeltjes in de waterkolom aanwezig zijn (welke slibwolken vormen), komt er een donkere waas over de weergave van de opname. Deze donkere waas is het gevolg van turbulenties in de waterkolom die ontstaan als gevolg van het slib dat in beweging is. Wanneer er sprake is van een slibdeken, wordt dit weergegeven door een egale lichtgrijze massa, waar het reliëf van de zandbodem in verdwijnt.

Door de duur van de side-scan sonar opnames en de weersomstandigheden, zijn de opnames over vier dagen verspreid. Dit is een nadeel, omdat de slibwolken die te zien zijn, niet goed te volgen zijn. Slibwolken verplaatsen zich namelijk vrij snel. Tevens wordt de side-scan sonar opname dan door verschillende meetleiders uitgevoerd en elke meetleider heeft een eigen idee over de afstelling van het apparaat.

De opnamedata van de side-scan sonar zijn:

- 1) 28 april 1995,
- 2) 4 mei 1995,
- 3) 31 mei 1995,
- 4) 1 juni 1995.

Na de analyse van de side-scan sonar opname is gebleken dat de bodem niet uit slib bestaat, maar uit zand. Dit is in overeenstemming met het uitgevoerde bodemonderzoek (beschreven in paragraaf 3.7). Wel waren er duidelijk slibwolken waar te nemen aan zowel de zuidzijde als de noordzijde van de zanddam evenals ter plaatse van de zanddam zelf. In de opnames van 28 april en 4 mei komen de slibwolken alleen aan de noordoost zijde voor. In de opnames die een maand later zijn gemaakt (31 mei en 1 juni), zijn de slibwolken duidelijker te zien en in het gedeelte waar de zanddam ligt, zijn ook slibwolken aan de zuidwest zijde gesignaleerd.

Uit dit onderzoek met de side-scan sonar is duidelijk geworden dat er wel degelijk slibwolken in het lodingsgebied aanwezig zijn en dat deze zich langs en over de zanddam verplaatsen. De afmetingen van deze slibwolken variëren sterk. Ook is op één plaats een zachtere bodem aangetroffen op de opnames van de side-scan sonar.

Uit side-scan sonar opnames kan niet geconcludeerd worden of dit een slibhoudende bodem is of een bodem die uit zand met een hoog percentage water bestaat.

Zoals de zanddam nu gesitueerd is, houdt de zanddam geen slib tegen en fungeert de zanddam dus niet als slibvang. De slibwolken bewegen zich over de zanddam heen. Of ze door de zanddam van richting veranderen kan niet worden geconcludeerd, omdat hier niet de goede gegevens beschikbaar voor zijn. Er kunnen dus geen duidelijke conclusies getrokken worden wat betreft de functie van de zanddam als slibgeleider. Wel kan opgemerkt worden dat zijn functie als slibgeleider waarschijnlijk gering is. Deze opmerking is gebaseerd op de afmetingen van de zanddam en de verhoudingen hiervan. Dit wordt duidelijk wanneer de zanddam op schaal wordt getekend (zie bijlage P3).

Om meer inzicht in de afgelegde banen van deze slibwolken te krijgen, zou misschien gebruik gemaakt kunnen worden van de side-scan sonar. Eerst zal een slibwolk gedetecteerd moeten worden en vervolgens zou deze gevolgd kunnen worden. Op deze manier kan dan onderzocht worden of de zanddam als slibgeleiding werkt. Om duidelijk te maken hoe deze slibwolken op een side-scan sonar opname zijn waar te nemen, zijn in bijlage L een aantal figuren opgenomen. De reden dat tijdens dit onderzoek naar het gedrag van de zanddam niet opnieuw side-scan sonar opnames zijn gemaakt om de slibwolken te proberen te volgen is dat er van te voren tijdig scheepscapaciteit moet worden gereserveerd. Dit was niet mogelijk tijdens dit onderzoek.

#### **4.10 Conclusies.**

- De Rijnafvoer heeft invloed op het gebied, waarin de zanddam ligt. De Rijnafvoer krijgt invloed op het zandtransport bij de zanddam op het moment dat er extreme afvoeren optreden (4000 à 5000 m<sup>3</sup>/s gemeten bij Lobith). Bij afvoeren lager dan 4000 à 5000 m<sup>3</sup>/s wordt de afvoer van de Rijn die via de Nieuwe Waterweg de Noordzee instroomt, constant gehouden.
- De verplaatsing van de kam neemt af van gemiddeld 10,80 m/j in de periode 1982 tot 1986 naar gemiddeld 4,10 m/j in de periode van 1991 tot 1995.
- De verplaatsing van de kam vertoont in de twee perioden (lodingsintervallen) een overwegende achterwaartse verplaatsing (zuidwestelijk). Dit is een mechanisme dat ook bij zandgolven voorkomt.
- De verplaatsing van de zwaartelijn vertoont ook een afname van de verplaatsingssnelheid. In de periode 1982 tot 1986 is de gemiddelde verplaatsingssnelheid 9,12 m/j en deze neemt af naar gemiddeld 3,43 m/j in de periode 1991 tot 1995.

- Van raai 4 tot en met raai 17 verplaatsen de damvoeten zich in noordoostelijke richting. In raai 4 is de verplaatsing het grootst en deze neemt lineair af naar nul in raai 18. Vanaf raai 18 tot en met raai 34 blijven de damvoeten op hun plaats. Het gedeelte van raai 4 tot en met raai 17 ondergaat een verdraaiing van ongeveer  $4,85^\circ$  in 12,5 jaar tijd. Dit is een gemiddelde verdraaiing van  $0,4^\circ$  per jaar.
- De onvoorspelbaarheid van de grootte van de jaarlijkse hoogteveranderingen kunnen worden vergeleken met de onvoorspelbaarheid van de grootte van de hoogteveranderingen van zandgolven. Op langere termijn komen de veranderingen in de hoogte van de top van de zanddam niet overeen met de veranderingen van de hoogte van zandgolven. De hoogte van de top van de zanddam neemt in de beschouwde periode duidelijk af, terwijl de hoogte van zandgolven binnen een bepaald interval blijven variëren. Een afname van de hoogte van de top van zandgolven in de winter en een wederopbouw in de zomer. Wel moet vermeld worden dat in twee perioden een duidelijke opbouw van de top van de zanddam heeft plaatsgevonden, wat ook een karakteristieke eigenschap is van zandgolven.
- Op de zuidzijde van de zanddam zijn megaribbels waargenomen in het diepe gedeelte. Deze megaribbels kunnen van invloed zijn op de variabele hoogteveranderingen van de zanddam.
- De grootte van de gemiddelde jaarlijkse afname van de hoogte is ongeveer 0,72 dm.
- De helling wordt aan de zuidzijde van de zanddam flauwer ten opzichte van de aanleghelling (1:60 tot 1:120). Aan de noordzijde wordt de helling aanzienlijk steiler (1:10 tot 1:30). In het diepe gedeelte zijn de hellingen steiler dan in het ondiepe gedeelte.
- De zanddam neemt een asymmetrische vorm aan. In het diepere gedeelte waar minder invloed van golven is, is de asymmetrie van de zanddam het grootste.
- Het is niet duidelijk of de zanddam een "evenwichtsvorm" bereikt heeft. Het kan ook zijn dat de top zich sneller blijft verplaatsen dan de noordelijke damvoet, waardoor het zand van de top bij de damvoet terecht komt en zo een afvlakking van de helling plaatsvindt.
- De hellingen in de richting evenwijdig aan de as van de zanddam variëren sterk. De maximale helling in het lodingsgebied is ongeveer 1:135 en de minimale helling is ongeveer 1:2800. De helling, loodrecht op de overheersende getijstroomrichting, van een verstoring (uiteinde van de zanddam), neemt in de loop der tijd een waarde aan van ongeveer 1:150.

- Uit de kuberingen volgt dat er zowel dwars- als langtransport plaatsvindt. Uit de kuberingen alleen kan niet geconcludeerd worden wat de overheersende zandtransport-richting is. Wanneer de aanname van de asymmetrische vorm die de zanddam in de loop der tijd aanneemt, ook in beschouwing wordt genomen, kan aangenomen worden dat het langtransport het overheersende transport is (transport loodrecht op de zanddam) en wel in noordoostelijke richting.
- Het is gebleken dat het lodingsgebied, wat het zandtransport betreft, niet gesloten is. Er treedt namelijk structurele erosie op. Het lodingsgebied behoort waarschijnlijk tot een groter systeem. Dit is een aanwijzing voor het feit dat de zanddam geen noemenswaardige invloed heeft op de zandtransporten die plaatsvinden in het lodingsgebied en de naaste omgeving.
- De afname van de inhoud van de zanddam varieert minimaal tussen de 4 en 28% (raai 4 tot en met 21).
- De methode waarop de kuberingen van de zanddam zijn bepaald, leidt er toe dat er geen verband tussen de inhoud van de zanddam, de waterdiepte en respectievelijk de verplaatsing van de zwaartelijn en de hoogteveranderingen.
- De zanddam kan in de periode 1982 tot en met 1995 stabiel beschouwd worden voor het gedeelte van raai 19 tot en met raai 34. De zanddam blijft in dit gedeelte op zijn plaats liggen. Wel moet de kanttekening geplaatst worden dat de hoogte van de zanddam afneemt, maar deze afnames zijn gering in dit gedeelte van de zanddam.
- De zanddam is in de periode 1982 tot en met 1995 in het ondiepe gedeelte (raai 4 tot en met raai 19) instabiel. In deze periode is een duidelijke verplaatsing van de gehele zanddam te constateren, evenals een structurele afname van de hoogte van de zanddam.
- De overgang van het stabiele naar het instabiele gedeelte van de zanddam komt overeen met de overgang die in de praktijk wordt aangehouden voor de grens van de (actieve) kustzone.
- In het lodingsgebied van de zanddam komt vrijwel geen slib voor, zodat geconcludeerd kan worden dat de zanddam niet als slibvang fungeert. Of de zanddam als slibgeleider werkt, kan niet direct geconcludeerd worden, evenals het omgekeerde. In het lodingsgebied komen namelijk wel slibwolken voor. Deze bewegen zich over de zanddam, maar over een eventuele richtingsverandering kan niets gezegd worden. Hiervoor waren de side-scan sonar opnames die tijdens dit onderzoek gemaakt zijn, niet geschikt.



#### **4.11 Vergelijking met het rapport van Redeker en Kollen wat betreft het gedrag van de zanddam.**

Redeker en Kollen [1983] hebben, toen de zanddam net aangelegd was, een numeriek model ontwikkeld, waarmee het gedrag van de zanddam voorspeld kan worden. Aan de hand van de verschillen tussen lodingen uit 1982 en 1983 hebben zij hun numerieke model getoetst en hebben zij de Meyer-Peter-Müller (MPM) zandtransportformule aangepast op de situatie van de zanddam. In deze paragraaf worden de bevindingen en voorspellingen van Redeker en Kollen vergeleken met de resultaten die uit de beschrijving van het gedrag van de zanddam over een periode van 12,5 jaar volgen.

- Redeker en Kollen concluderen dat de golfvloed niet verwaarloosbaar is. De verlaging van de top van de zanddam neemt zelfs met 20% toe als in de berekeningen ook de golfvloed wordt meegenomen. De invloed van de golven neemt af naarmate de zanddam zich in dieper water bevindt. Uit de analyse van het gedrag van de zanddam over de periode 1982 tot en met 1995 blijkt dat de golven inderdaad invloed hebben. Deze invloed is het grootste in het ondiepe gedeelte (van raai 4 tot en met 19). In de overige raaien is de invloed van golven minder.
- Redeker en Kollen voorspellen een verlaging van de top in vijf jaar tijd van 1,10 m (zonder golfvloed, met golfvloed komt er nog 20% bij). Uit de metingen blijkt dat de werkelijke verlaging veel kleiner is en dat zelfs over een periode van 12,5 jaar deze grootte van verlaging vrijwel niet voorkomt.
- Redeker en Kollen voorspellen een verplaatsingssnelheid van de top van 4,5 m/j en van de damvoeten 0,45 m/j. Dit is niet geheel in overeenstemming met de waarden die uit de metingen naar voren zijn gekomen. Uit de metingen volgt dat alleen voor de periode 1991 tot en met 1995 de verplaatsingssnelheid van de top overeen komt met de berekende verplaatsingssnelheid. De verplaatsingssnelheid van de damvoeten komt niet overeen wat betreft het ondiepe gedeelte van de zanddam. Voor wat betreft het diepe gedeelte kan verondersteld worden dat de overeenkomst van de verplaatsingssnelheid van de damvoeten goed is, omdat de berekende waarden zo klein zijn dat deze verschillen niet uit de metingen zijn te halen (uit de metingen is de plaats van de damvoeten constant gebleken).
- Redeker en Kollen concluderen dat ook de invloed van de golven de verplaatsingssnelheid van de verstoring (de zanddam) gedeeltelijk bepaalt. Dit houdt in dat een ondiep gelegen verstoring zich meer verplaatst dan een diep gelegen verstoring. Uit het onderzoek naar het gedrag van de zanddam komt dit ook naar voren.

- Redeker en Kollen veronderstellen dat de zanddam scheef gaat staan, wat ook het geval is, en dat door sterkere afvlakking van de steilere hellingen de zanddam een evenwicht vindt waarbij hij zich in z'n geheel gaat verplaatsen met een snelheid die tussen die van de top en voet is. Dit is niet uit het onderzoek gebleken. In het ondiepe gedeelte verplaatst de zanddam zich vanaf de aanleg in zijn geheel en in het diepe gedeelte is nog geen verplaatsing van de gehele dam geconstateerd.
- Voor de berekeningen wordt het getij symmetrisch verondersteld. Uit het duidelijk asymmetrisch worden van de zanddam, wat een gevolg is van de stroming over en langs de zanddam, lijkt dit geen terechte aanname.
- De hellinginvloed wordt in de MPM-formule verwerkt. Er wordt vanuit gegaan dat de zanddam een afvlakking aan beide kanten vertoont (het zand wordt van de top gelijk verdeeld over de beide flanken van de zanddam). Naar de huidige inzichten lijkt dit niet het enige mechanisme te zijn dat de helling van de zanddam beïnvloedt. De zanddam wordt namelijk duidelijk asymmetrisch. Aan de zuidzijde vlakt de zanddam inderdaad af, maar aan de noordzijde wordt de helling steiler.
- In 1984 is een notitie [Kollen, 1984] gemaakt met betrekking tot het herzien van de richting waarin de zanddam zich verplaatst. In hun afstudeerrapport hadden Redeker en Kollen voorspeld dat de zanddam zich in zuidwestelijke richting zou gaan verplaatsen. Na een aantal nieuwe lodingen hebben zij deze conclusie herzien en werd er een verplaatsing naar het noordwesten geconstateerd. Dit komt echter niet overeen met de verplaatsing die tijdens dit onderzoek geconstateerd is: noordoostelijke verplaatsing.
- Redeker en Kollen geven in hun rapport al aan dat de zanddam een asymmetrische vorm zal gaan aannemen. In de eerder genoemde aanvullende notitie op hun onderzoek wordt er vastgesteld dat de zanddam de karakteristieke asymmetrische vorm van zandgolven aanneemt. Uit de beschrijving van het gedrag van de zanddam is dit ook duidelijk te constateren.

## **HOOFDSTUK 5 Zandtransportberekeningen.**

### **5.1 Inleiding.**

In dit hoofdstuk zullen de resultaten van de zandtransportberekeningen worden besproken. Het zandtransport kan op verschillende manieren berekend worden, waaronder analytisch en uit lodingen. Voor de analytische berekening is het van belang om te weten of het zandtransport als gevolg van stroming en/of als gevolg van golfbewegingen optreedt. Daarom wordt in paragraaf 5.2 eerst bepaald onder welke van de bovengenoemde invloeden zandtransport optreedt. In paragraaf 5.3 wordt het zandtransport bepaald aan de hand van de beschikbare lodingen, gevolgd door analytische zandtransportberekeningen met verschillende formules in paragraaf 5.4. In paragraaf 5.5 worden de uitkomsten van zandtransporten volgens Van Rijn [1995] en het onderzoek dat heeft plaats gevonden bij Wijk aan Zee [Verhagen en Wiersma, 1992] beschreven. De conclusies uit de twee bovengenoemde rapporten worden in paragraaf 5.6 vergeleken met de uitkomsten, die uit de lodingen en analytische berekeningen zijn gevolgd. Tenslotte worden in paragraaf 5.7 de conclusies die uit dit hoofdstuk volgen, aangegeven.

### **5.2 Soort zandtransport.**

#### **5.2.1 Inleiding.**

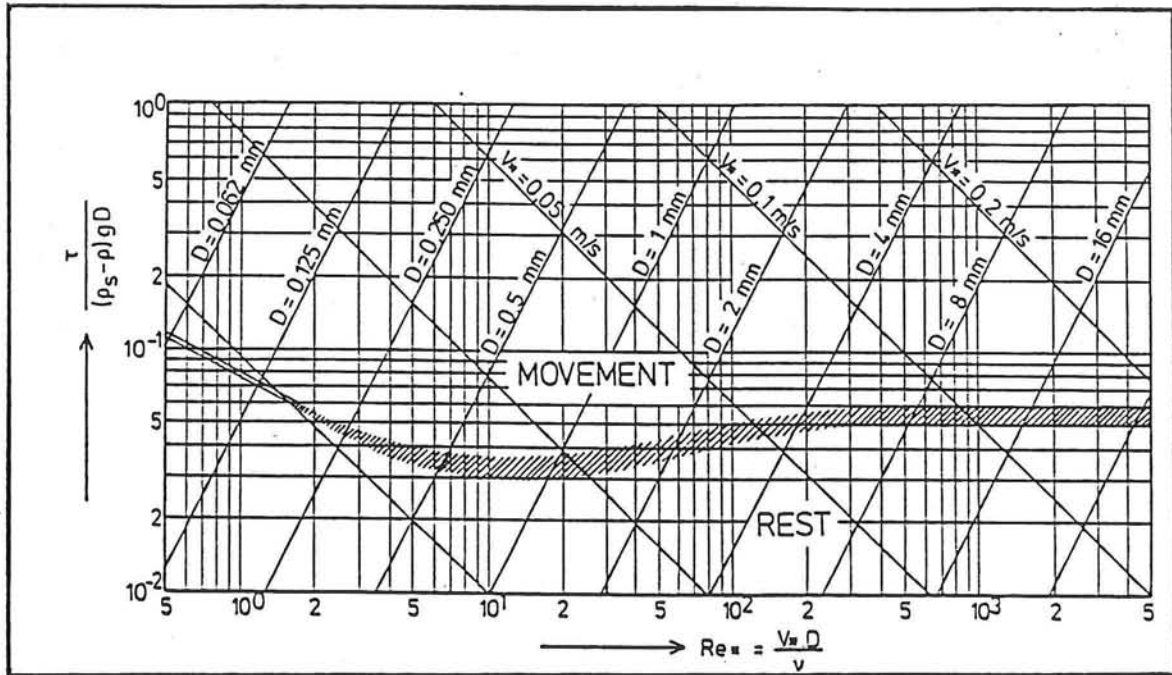
Om het zandtransport te berekenen is het van belang om te weten wat de drijvende krachten hier achter zijn. Het zandtransport kan veroorzaakt worden door (een combinatie van) de getij- en dichtheidsstromen en golven.

Voordat er zandtransport plaats kan vinden, zullen de zandkorrels in beweging moeten komen. Een voorwaarde om de zandkorrels in beweging te brengen is dat de waterstroming bij de bodem sterk genoeg moet zijn om een zekere grens te overschrijden. Het moment van begin van bewegen van een zandkorrel wordt beschreven met behulp van de kritische snelheid of de kritische schuifspanning. Shields heeft voor het begin van bewegen van een zandkorrel een vergelijking opgesteld (formule 5.1), welke tevens in grafiekvorm (figuur 5.1) kan worden weergegeven. Deze vergelijking geldt voor de situatie dat er alleen stroming is en geen golven.

Uit onderzoek [Komar en Miller, 1974] is gebleken dat het begin van bewegen van een zandkorrel onder invloed van alleen stroming goed overeenkomt met het begin van bewegen van een zandkorrel onder de invloed van alleen golven. De snelheid waarbij de zandkorrels in beweging komen, kan dus voor de beide situaties (alleen stroming of alleen golven) gelijk gesteld worden. Uit een onderzoek dat daarop volgde [Soulsby en Bettess, 1991] is gebleken dat, ondanks de complexe turbulente structuren die ontstaan wanneer er een combinatie van golven en stroming aanwezig is, de grenscondities van begin van bewegen van een combinatie van golven en stroming nagenoeg hetzelfde zijn als die onder alleen stroming of alleen orbitaalbeweging.

$$\frac{\tau_{krit}}{(\rho_s - \rho)gD_{50}} = f(Re) \quad (5.1)$$

- waarin
- $\tau_{krit}$  = kritische schuifspanning
  - $\rho_s$  = dichtheid van zand
  - $\rho$  = dichtheid van water
  - $g$  = valversnelling
  - $D_{50}$  = gemiddelde korreldiameter
  - $f(Re)$  = functie van het getal van Reynolds



Figuur 5.1 Begin van bewegen volgens Shields.

Wanneer de gemiddelde korreldiameter ( $D_{50}$ ) van de zandkorrels bekend is, kan de Shields-parameter ( $f(Re)$ ) worden afgelezen en  $\tau_{krit}$  worden berekend. Via formule 5.2 kan  $v_{krit}$  worden berekend. Nadat  $v_{krit}$  bepaald is, kunnen de snelheden van de getijstrooming en de snelheden bij de bodem ten gevolge van de golven (de orbitaalbeweging) vergeleken worden met  $v_{krit}$ . Wanneer de berekende snelheden groter zijn dan  $v_{krit}$ , zal er zandtransport optreden.

$$v_{*krit} = \sqrt{\frac{\tau_{krit}}{\rho}} = \frac{v_{krit}\sqrt{g}}{C} \quad (5.2)$$

waarin  $v_{*krit}$  = kritische schuifspanningssnelheid  
 $v_{krit}$  = kritische snelheid  
 $C$  = Chézy-coëfficiënt

### 5.2.2 Bepaling van de kritische snelheden.

De kritische snelheden die berekend worden, zijn gebaseerd op de gemiddelde snelheid over de verticaal ( $\approx 0,4h$  boven de bodem) en gelden voor een getijstroming. Zoals in 5.2.1 al vermeld is, is het begin van bewegen van zand als gevolg van de orbitaalsnelheden van golven ( $u_{krit}$ ) vrijwel gelijk met het moment van begin van bewegen als gevolg van stroming [Komar en Miller, 1974].

Uit het bodemonderzoek dat in paragraaf 3.7 beschreven is, volgt dat het zand ten zuiden van de zanddam, op de zanddam zelf en ten noorden van de zanddam verschillende  $D_{50}$ 's hebben. Ook is de  $D_{50}$  in raai 4 aan de noordzijde van de zanddam  $100 \mu\text{m}$  kleiner dan in het diepere gedeelte aan de noordzijde van de zanddam. Dit heeft tot gevolg dat er verschillende kritische snelheden zijn. Voor de raaien 4, 20 en 34 worden de kritische snelheden aan de zuidzijde van de zanddam, ter plaatse van de top en aan de noordzijde van de zanddam berekend. De berekende kritische snelheden zijn in tabel 5.1 vermeld; er is uitgegaan van een  $k_s$ -waarde van  $0,06 \text{ m}$ . Tevens zijn de waterdiepte en de gemiddelde korreldiameter vermeld, waarvoor de kritische snelheden berekend zijn.

Raainummer	Zijde van zanddam	$D_{50}$ ( $\mu\text{m}$ )	$h$ (m)	$v_{krit}$ (m/s)
4	Zuidzijde	230	15,6	0,27
20		220	19,5	0,27
34		245	23,0	0,28
4	Top	400	14,5	0,30
20		445	15,7	0,32
34		430	19,4	0,32
4	Noord	240	16,0	0,25
20		360	20,2	0,30
34		360	21,3	0,30

Tabel 5.1 Begin van bewegen van zandkorrels.

Uit tabel 5.1 blijkt dat de diepte vrijwel geen invloed heeft op het begin van bewegen van zandkorrels.

### 5.2.3 Transport door getij.

Om te bepalen of er zandtransport als gevolg van de getijstroomsnelheden optreedt, zijn de getijstroomsnelheden die groter zijn dan  $v_{krit}$  van belang. Wanneer de getijstroomsnelheden die optreden groter zijn dan  $v_{krit}$ , vindt er zandtransport plaats. Voor de berekeningen van het zandtransport wordt gebruik gemaakt van de gemeten getijstroomsnelheden op 15 cm boven de bodem (paragraaf 3.6). Wanneer de gemeten waarden met  $v_{krit}$  worden vergeleken, moeten deze gemeten waarden worden omgerekend naar een gemiddelde snelheid in de verticaal.

De berekening van de getijstroomsnelheden, zoals gegeven op 15 cm boven de bodem, naar een gemiddelde snelheid in de verticaal, kan worden uitgevoerd met behulp van formule 5.3.

$$v(z) = \frac{v_*}{\kappa} \ln\left(\frac{z}{z_0}\right) \quad (5.3)$$

waarin  $v(z)$  = snelheid op hoogte  $z$  boven de bodem  
 $v_*$  = wrijvings snelheid  
 $\kappa$  = von Karman coëfficiënt  
 $z_0$  = nulpuntsniveau van de snelheid

Voor de raaien 4 en 20 wordt met behulp van formule 5.3 het percentage per jaar berekend dat de getijstroomsnelheden groter zijn dan  $v_{krit}$ . De resultaten worden in tabel 5.2 vermeld. Voor de berekening wordt een  $k_s$ -waarde aangehouden van 0,06 m. Bij een lagere  $k_s$ -waarde wordt het percentage van de tijd dat  $v_{krit}$  wordt overschreden lager.

	Raai 4			Raai 20		
	$v_{krit}$ (m/s)	0,4*h (m)	$v > v_{krit}$ (%)	$v_{krit}$ (m/s)	0,4*h (m)	$v > v_{krit}$ (%)
Zuid	0,27	6,2	56	0,27	7,8	56
Top	0,30	5,8	48	0,32	6,3	43
Noord	0,25	6,4	61	0,30	8,1	52

Tabel 5.2 Percentage per jaar dat de getijstroomsnelheid groter is dan  $v_{krit}$ .

Uit de tabel volgt dat de getijstrooming voor een groot gedeelte van de tijd groter is dan  $v_{krit}$ .

Er moet wel rekening gehouden worden met het feit dat de stroming als gevolg van de orbitaalbeweging van golven samen met lagere getijstroomsnelheden ook voor zandtransport kan zorgen.

#### **5.2.4 Transport door golven.**

Voor de bepaling van het wel of niet voorkomen van golfgedreven transport, is de snelheid veroorzaakt door golven bij de bodem van belang. Bij deze zandtransportberekeningen wordt de orbitaalbeweging berekend met behulp van de lineaire golftheorie. Dit betekent dat het netto zandtransport als gevolg van golven alleen  $0 \text{ m}^3/\text{m}/\text{j}$  is. De bijdrage van de orbitaalbeweging is dus vooral van invloed op het in suspensie brengen van het sediment.

Voor de berekeningen van de orbitaalsnelheden met behulp van de lineaire golftheorie zijn de hoogte van de golven en de bijbehorende golfperiode belangrijk. In bijlage M zijn de benodigde formules en een tabel met grenswaarden opgenomen.

Uit paragraaf 4.4 is reeds gebleken dat de golfdynamiek vanaf raai 19 een minder grote invloed heeft op het zandtransport. In die paragraaf is de invloed van de golven voor raai 16 berekend. In bijlage M zijn de berekeningen uitgevoerd voor raai 4. De tussenliggende raaien zullen een invloedspercentage hebben dat tussen die van raai 4 en raai 16 in ligt.

In tabel 5.3 zijn de percentages op jaarbasis vermeld dat de golven (zonder stroming) snelheden veroorzaken aan de bodem die groter zijn dan  $u_{\text{krit}}$ .

	Zuidzijde van de zanddam	Top van de zanddam	Noordzijde van de zanddam
raai 4	17 %	15 %	14 %
raai 16	10 %	12 %	9 %

Tabel 5.3 Percentage per jaar dat de orbitaalbeweging groter is dan  $u_{\text{krit}}$ .

### **5.3 Zandtransport uit de lodingen.**

#### **5.3.1 Inleiding.**

Het totale optredende zandtransport ( $S_{\text{tot}}$ ) kan niet uit de lodingen bepaald worden, omdat het initiële zandtransport niet bekend is (het zandtransport op  $x = 0$ ). Voor het totale zandtransport geldt:  $S_{\text{tot}} = S + S_{\text{const}}$ , waarin  $S_{\text{const}}$  de onbekende is.  $S$  kan uit de damdwarsdoorsneden bepaald worden. Dit betekent dat door de bepaling van  $S$ , de "vorm" van het verloop van het zandtransport wordt weergegeven.

Er wordt voor de berekeningen uitgegaan dat de veranderingen geheel door het langstransport (transport dwars op de dam) veroorzaakt worden. In werkelijkheid zal een gedeelte ook toe te schrijven zijn aan dwarstransport (zie ook paragraaf 4.7).

Via de kuberingen is echter niet te achterhalen welk percentage aan het langtransport is toe te schrijven en welk percentage aan het dwarstransport. Daar de zanddam zich naar het noordoosten verplaatst en de asymmetrie die de zanddam in de loop der tijd aanneemt hiermee overeenkomt, mag inderdaad worden aangenomen dat het langtransport maatgevend is.

In de subparagraaf 5.3.2 wordt uitgelegd hoe de zandtransporten uit de lodingen kunnen worden bepaald. De resultaten worden in 5.3.3 beschreven. Eventuele relaties die tussen het zandtransport en de hellingen c.q. de hoogte van de zanddam bestaan, worden in de subparagrafen 5.3.4 en 5.3.5 behandeld. Tenslotte wordt in subparagraaf 5.3.6 de relatie tussen het zandtransport, de hoogte van de zanddam en de diepte waarop de zanddam ligt beschreven. De zandtransporten die uit de lodingen volgen worden bepaald voor de dwarsdoorsnede van de zanddam en dus niet over de gehele 1800 meter.

### **5.3.2 Methode van berekening.**

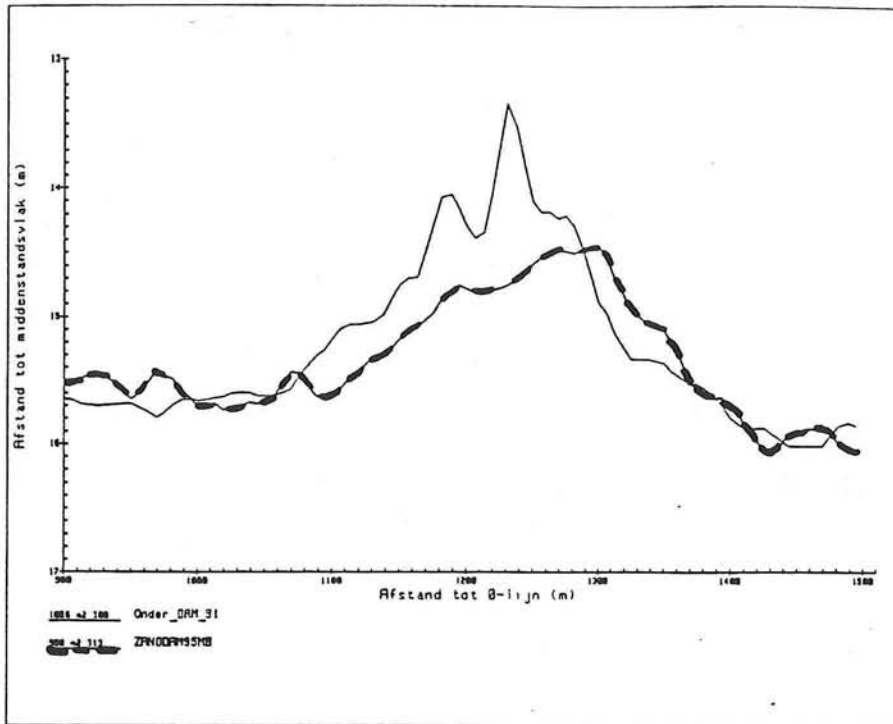
Zoals in de inleiding van deze paragraaf duidelijk is geworden, kan alleen de "vorm" van het verloop van het zandtransport uit de lodingen berekend worden. Het verloop van de "vorm" is een indicatie voor het verloop van het zandtransport. Dit heeft tot gevolg dat het zandtransport (op  $S_{const}$  na) ter plaatse van de top van de zanddam bekend is. Dit is namelijk het verschil tussen het zandtransport ter plaatse van de top van de zanddam en de waarde van de, tijdens de bepaling van de S-curve, aangenomen  $S_{const}$  ter plaatse van de top van de zanddam. Voor de berekening worden alle lodingsjaren gebruikt.

Het zandtransport (S) kan bepaald worden door een cumulatieve verschilkubering te berekenen uit twee doorsneden. De cumulatieve verschilkubering volgt uit het verschil van de cumulatieve kubering van loding 1 en de cumulatieve kubering van loding 2. De cumulatieve verschilkubering is namelijk gelijk aan het zandtransport (op de constante ( $S_{const}$ ) na). Dit wordt in bijlage N toegelicht. In figuur 5.2a, b en c is grafisch weergegeven hoe de cumulatieve verschilkubering uit twee damdwarsdoorsneden bepaald kan worden.

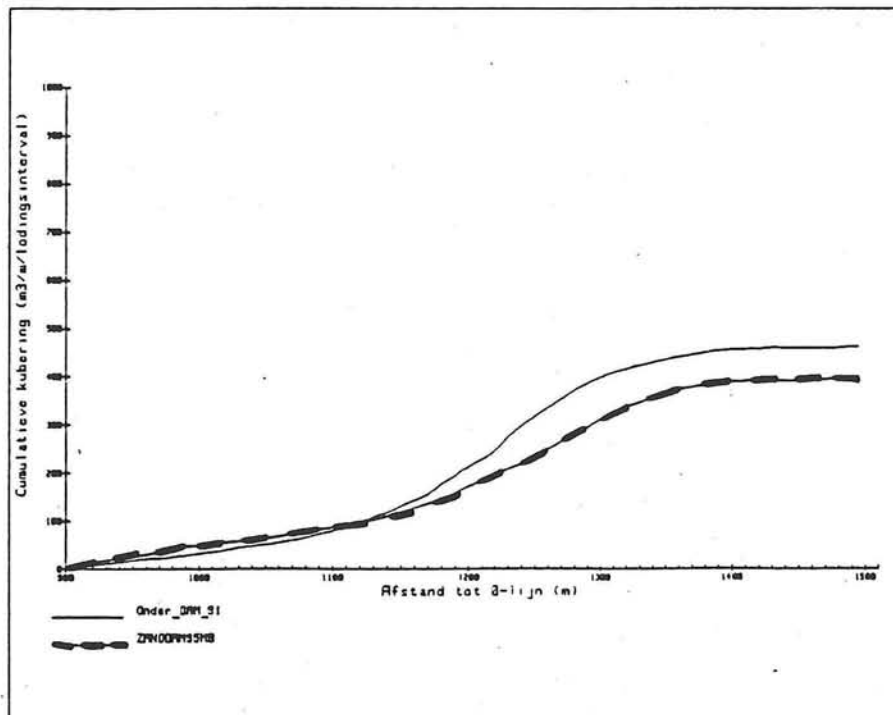
Uit de bepaalde S-curve, kan per punt in de doorsnede de hoeveelheid getransporteerd zand per lodingsinterval (transportcapaciteit van dat punt) worden afgelezen (op  $S_{const}$  na). Het doel is om per raai één representatieve S-curve te bepalen, zodat het gemiddelde jaarlijkse zandtransport bekend is voor de betreffende raai. Aangezien er 9 lodingen zijn, kunnen er 8 S-curves per raai bepaald worden.

Uit de cumulatieve verschilkuberingen blijkt dat de doorsneden niet gesloten zijn. Dat wil zeggen per doorsnede is er een resulterende erosie of sedimentatie. Het blijkt dat in eenzelfde raai in het ene lodingsinterval een resulterende erosie optreedt, terwijl in een ander lodingsinterval juist een sedimentatie plaatsvindt. De maximale variatie is in raai 4 geconstateerd. Deze variatie is tussen de 150 m<sup>3</sup>/m/j sedimentatie en 100 m<sup>3</sup>/m/j erosie.

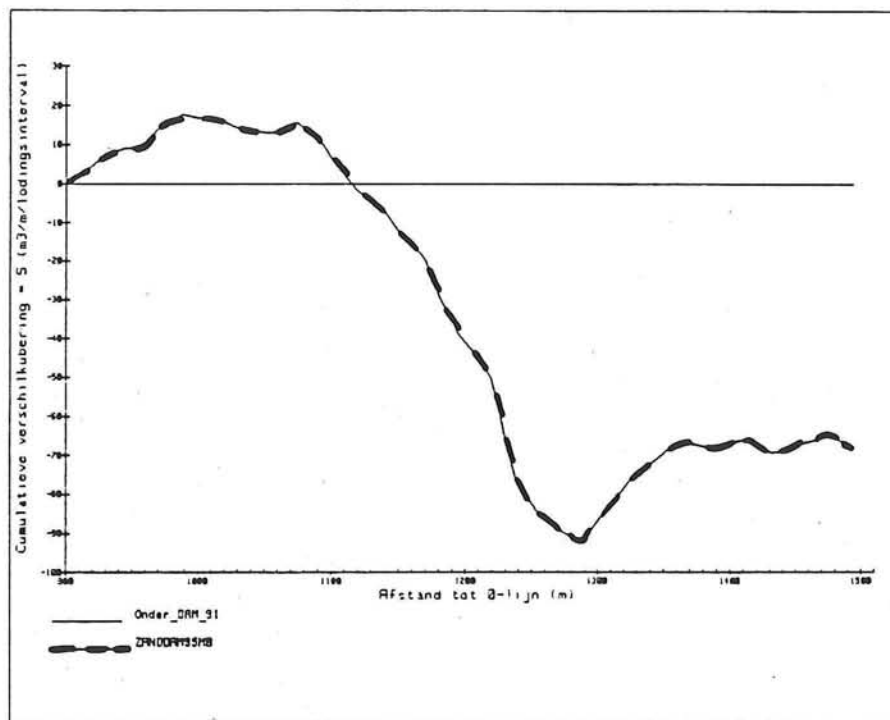




Figuur 5.2a Dwarsdoorsnede van de zanddam (1991 en 1995).



Figuur 5.2b Cumulatieve kubering (1991 en 1995).



Figuur 5.2c Cumulatieve verschikubering = S (1995 t.o.v. 1991).

Om toch één representatieve S-curve te bepalen, wordt een methode toegepast om de grote variatie in de resulterende sedimentatie/erosie terug te brengen. Deze methode bestaat uit 9 stappen. Naast de uitleg die in het vervolg van deze subparagraaf volgt, is de methode in bijlage O voor raai 4 per stap aan de hand van figuren toegelicht.

De stappen die ondernomen moeten worden om tot één benaderende S-curve te komen zijn:

- 1) Per lodingsinterval wordt de resulterende sedimentatie/erosie afgelezen uit de reeds bepaalde cumulatieve verschikubering (figuur 5.2c). Deze resulterende sedimentatie/erosie wordt  $\Delta S$  genoemd.
- 2) De verschillende waarden voor  $\Delta S$  worden cumulatief in een grafiek uitgezet tegen de tijd.
- 3) Met behulp van lineaire regressie worden de punten van de cumulatieve  $\Delta S$ -grafiek benaderd door een rechte lijn.

- 4) De echte punten van de cumulatieve  $\Delta S$ -grafiek worden zo aangepast dat ze op de rechte lijn komen te liggen.
- 5) De nieuwe waarden voor  $\Delta S$ , die per lodingsinterval gelden, kunnen worden afgelezen. Deze waarden worden in het vervolg  $\Delta S_n$  genoemd.
- 6) De  $\Delta S$ , die voor iedere S-curve bepaald is, wordt vervangen door de bijbehorende  $\Delta S_n$ , waardoor een nieuwe S-curve ontstaat.
- 7) Deze nieuwe S-curves gelden voor lodingsintervallen die elk een andere tijdsduur beslaan. De S-curves moeten ieder naar eenzelfde tijdsduur worden omgerekend, zodat de S-curves van een raai met elkaar vergeleken kunnen worden. Voor deze gelijke periode wordt één jaar genomen.
- 8) De verschillende, naar één jaar omgerekende, S-curves worden vervolgens in één grafiek weergegeven met de maxima op elkaar liggend. Dit wordt per raai gedaan.
- 9) Door de 8 S-curves wordt een benaderende S-curve bepaald.

Deze methode wordt voor een aantal raaien toegepast, zodat duidelijk wordt of er verschillen in de zandtransporten zijn tussen het diepe en het ondiepe gedeelte van de zanddam. Voor het diepe gedeelte kan echter alleen gebruik gemaakt worden van de laatste 5 lodingen, waardoor het toepassen van lineaire regressie eigenlijk niet is toegestaan; het beeld is hiervoor te onregelmatig. Verder moet bij de interpretatie van de S-curves rekening gehouden worden met het feit dat de S-curve een gemiddelde is over 12,5 jaar en dat de S-curve niet geschikt is voor voorspelling op jaarbasis. Zoals al eerder vermeld is in deze subparagraaf, is uit de lodingen gebleken dat per lodingsinterval de zandtransportbalans niet gesloten is en dat per lodingsinterval de  $\Delta S$  nogal kan verschillen (resulterende erosie/sedimentatie).

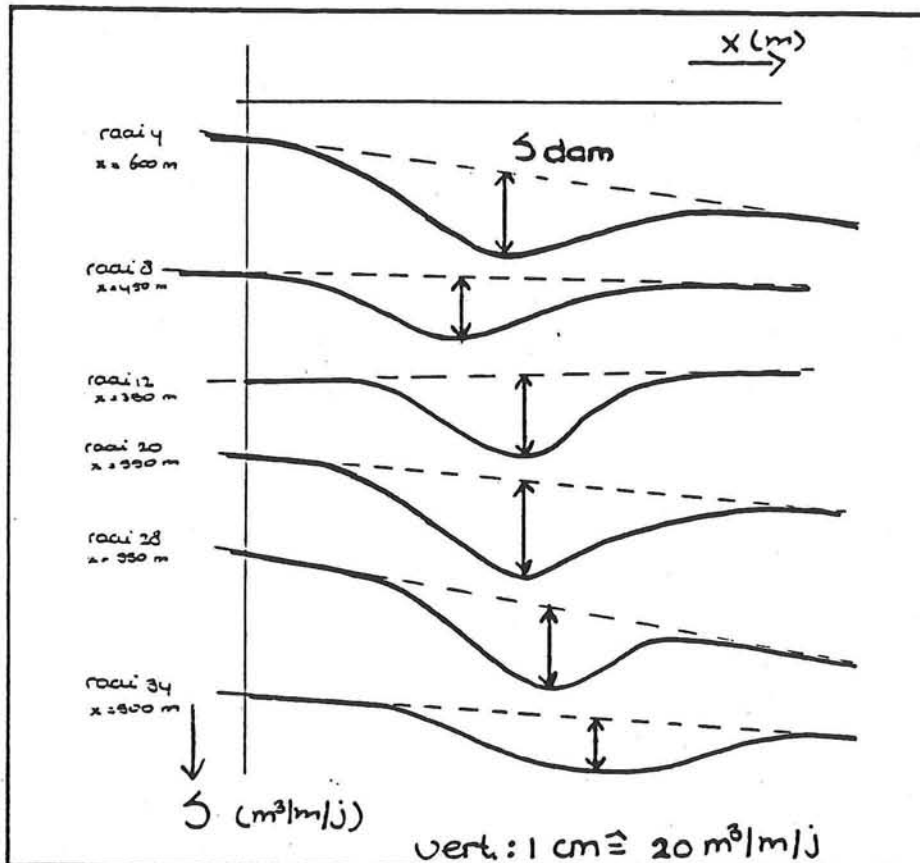
De bepaling van de benaderende S-curves wordt voor een aantal raaien uitgevoerd en wel voor de raaien 4, 8, 12, 20, 28 en 34. Voor de raaien 4, 8 en 12 kunnen alle lodingen gebruikt worden. Voor raai 20 kunnen de lodingen vanaf 1986 worden gebruikt en voor de raaien 28 en 34 kunnen alleen de lodingen vanaf 1991 gebruikt worden.

Wanneer de benaderende S-curve bepaald is, kan het zandtransport ter plaatse van de top afgelezen worden (zoals eerder in deze subparagraaf is aangegeven). Deze waarde wordt in het vervolg  $S_{dam}$  genoemd (zie figuur 5.3). Er moet wel rekening mee gehouden worden dat  $S_{dam}$  het transport is inclusief poriën. Bij de zandtransportberekeningen die met de analytische zandtransportformules worden uitgevoerd, is het berekende zandtransport het zandtransport exclusief poriën. Wanneer de uit lodingen bepaalde zandtransporten en de analytisch berekende zandtransporten met elkaar vergeleken worden, moet hier wel rekening mee gehouden worden. Het percentage poriën is gemiddeld genomen 40%.

De bepaalde zandtransporten uit de lodingen (inclusief de poriën) zullen dus met een factor 0,6 vermenigvuldigd moeten worden, zodat een vergelijking kan worden gemaakt met de analytisch berekende zandtransporten.

### 5.3.3 Resultaten van de berekeningen.

In deze subparagraaf zullen alleen de eindresultaten gepresenteerd worden. In figuur 5.3 zijn de benaderende S-curves voor de raaien 4, 8, 12, 20, 28 en 34 weergegeven. De eenheden die de grootte van het zandtransport weergeven, zijn voor alle S-curves gelijk. Daarentegen zijn de x-waarden (horizontale afstand in de dwarsdoorsnede) niet voor alle raaien gelijk. Aangezien de interesse vooral uit gaat naar de veranderingen die in de dwarsdoorsnede optreden (de werkelijke  $S_{const}$  kan tenslotte niet bepaald worden) en met name naar de maxima van de verschillende S-curves ter plaatse van de zanddam, is het voor de bepaling van  $S_{dam}$  niet nodig om de x-waarden te verscalen.



Figuur 5.3 Representatieve S-curves voor de raaien 4, 8, 12, 20, 28 en 34

Uit figuur 5.3 blijkt dat er geen duidelijk verschil is waar te nemen tussen de zandtransporten die voorkomen in het diepe en ondiepe gedeelte van de zanddam. Omdat dit wel te verwachten is, wordt daar in subparagraaf 5.3.5 nader op ingegaan.

De verstoring in het verloop van de S-curve, die door de zanddam wordt veroorzaakt, beslaat voor de meer zeewaarts gelegen raaien niet de gehele damdwarsdoorsnede (voetbreedte). Voor de raaien 4 en 8 beslaat de verstoring in het verloop van de S-curve een breder gebied dan de voetbreedte van de zanddam. Dit is te verklaren door de horizontale verplaatsing van de gehele zanddam in de ondieper gelegen raaien.

Uit de grafieken van de S-curves is ook het onverstoorde verloop van de curve te halen. Deze heeft geen constante waarde, maar verloopt onder een helling (=  $dS/dx$ ). De richtingscoëfficiënt van de hellingen worden in tabel 5.4 gegeven, evenals de totale hoeveelheid zand die uit de doorsnede verdwijnt of erbij komt.

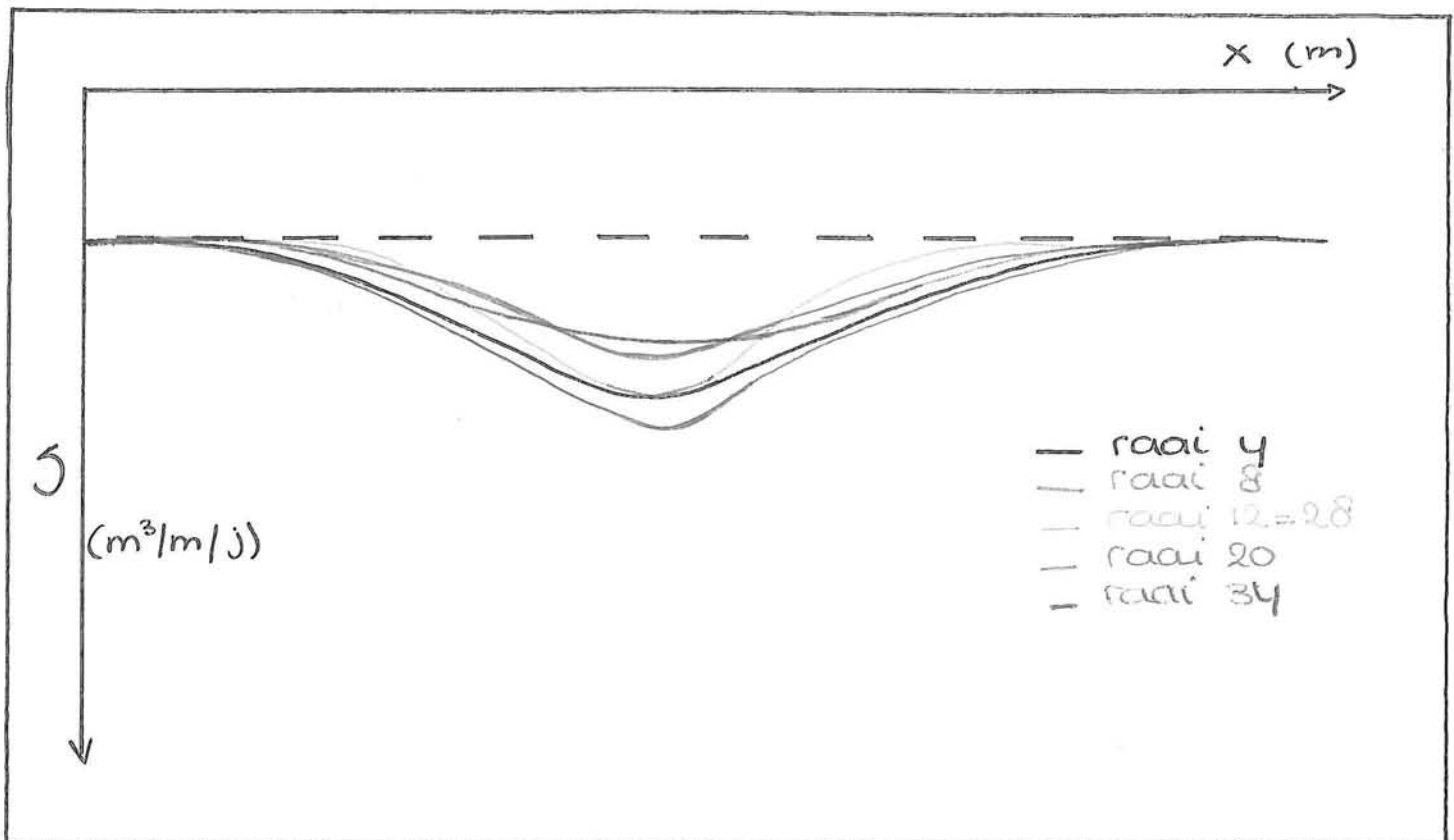
Raai	4	8	12	20	28	34
$S_{dam}$ (incl. poriën) ( $m^3/m/j$ )	21	16	21	25	21	14
$S_{dam}$ (excl. poriën) ( $m^3/m/j$ )	12,6	9,6	12,6	15	12,6	8,4
Helling van S ( $m^3/m/j$ )/m	0,035	0,007	-0,014	0,025	0,045	0,024
Breedte doorsnede (m)	600	450	350	550	550	500
verandering in doorsnede ( $m^3/m/j$ )	- 21	- 3,15	4,90	- 13,75	- 24,75	- 12,0

Tabel 5.4 Het zandtransport ter plaatse van de top van de zanddam ( $S_{dam}$ ) en de helling waaronder de S-curve verloopt.

Op raai 12 na hebben de hellingen een positieve richtingscoëfficiënt. De positieve richting van S is namelijk naar beneden gekozen. Dit betekent dat er structurele erosie optreedt in de dwarsdoorsnede van de zanddam. Dit komt overeen met de in paragraaf 4.7 geconstateerde structurele erosie.

Ook is uit de beschrijving van het gedrag van de zanddam (hoofdstuk 4) gebleken dat de inhoud van de zanddam in de loop der tijd afneemt. Vooral in het ondiepste gedeelte. Een afname van de inhoud van de zanddam zal leiden tot een afname van het maximum van de verstoring. De verstoring, die door de zanddam veroorzaakt wordt in het verloop van de S-curve, zal in de loop der tijd dus afvlakken. Als de zanddam geheel verdwijnt, zal de S-curve ook daar onder een helling gaan verlopen die gelijk is aan de helling van de S-curve net ten zuiden en ten noorden van de zanddam. In het geval dat de zandtransportbalans van het gebied voor de aanleg van de zanddam in evenwicht was ( $S_{in} = S_{uit}$ ), zal dit evenwicht zich herstellen na het verdwijnen van de zanddam.

Door de verschillende hellingen van de S-curves op elkaar te leggen, kan een goede vergelijking worden verkregen van het verloop van de verstoring. In figuur 5.4 is dit weergegeven.



Figuur 5.4 Vormverloop van de S-curves.

De vormen van de S-curves vertonen grote overeenkomsten. De raaien 12 en 28 hebben zelfs exact hetzelfde verloop. De invloed van de asymmetrie op het vormverloop van de S-curve is ook te zien, maar niet overduidelijk. In de subparagraaf 5.3.4 wordt nader ingegaan op de invloed die de hellingen van de zanddam en de asymmetrie van de zanddam op de vorm van de S-curve hebben.

#### **5.3.4 De invloed van de asymmetrie en de hellingen van de zanddam op het zandtransport.**

In theorie zijn de volgende processen te verwachten wanneer de hellingen en/of de asymmetrie veranderen:

- Als de zanddam symmetrisch is, zal de "vorm" van de S-curve ook symmetrisch verlopen. Op het moment dat de zanddam een asymmetrische vorm aanneemt, zal de S-curve ook een asymmetrische vorm gaan aannemen (zie figuur P1 in bijlage P1). Als aangenomen wordt dat dezelfde hoeveelheid zand verplaatst wordt ( $S_{\text{damsym}} = S_{\text{damasym}}$ ), zal de top van de S-curve naar de kant van de steilere helling verplaatsen. De zandtransportcapaciteit boven de flauwere helling neemt af, terwijl de zandtransportcapaciteit van de steile helling toeneemt (toe- en afname ten opzichte van de symmetrische situatie). Als de zanddam van een symmetrische vorm naar een asymmetrische vorm gaat en tijdens het lodingsinterval ook een verschuiving ondergaat, neemt  $S_{\text{dam}}$  toe.
- Als de zanddam symmetrisch blijft, maar de hellingen aan beide kanten afnemen (afvlakking van de zanddam), zal de vorm van de zandtransportcapaciteit veranderen. Er zal nu in plaats van één maximum, een maximum en een minimum in de S-curves voorkomen (zie figuur P2 in bijlage P1). Bij de afvlakking komen het maximum en het minimum ter plaatse van de buigpunten van de zanddam te liggen. Wanneer de zanddam afvlakt en verschuift, neemt de grootte van het maximum toe. Dit wordt ook in figuur P2 in bijlage P1 grafisch toegelicht.

Om een indruk te krijgen of de asymmetrie van de zanddam inderdaad invloed uitoefent op het verloop van de S-curve is in bijlage P2 figuur 5.3 vergroot opgenomen. Om de asymmetrie te kunnen waarnemen zijn de oppervlakken van de afzonderlijke S-curves in tweeën gedeeld. De scheidingslijn is een lijn die door  $S_{\text{dam}}$  gaat en loodrecht op de helling  $dS/dx$  staat. Nu is te zien dat de asymmetrie terug te vinden is in de S-curve, al is dit niet overduidelijk. Aan de noordzijde van de zanddam, waar de helling steiler is, is de gradiënt van de S-curve groter. Dit is in overeenstemming met de verwachtingen van het vormverloop met betrekking tot de asymmetrie van de zanddam.

Om de invloed van de helling op het zandtransport te bepalen, worden de S-curves van verschillende lodingsintervallen met elkaar vergeleken. De S-curves moeten wel van dezelfde raai zijn om invloeden van verschillen in hoogte van de zanddam en waterdiepte te vermijden. Een voorwaarde om de invloed van de hellingen van de zanddam op het zandtransport te constateren, is dat de hellingen van de zanddam van de beginlodingen duidelijk moeten verschillen van de hellingen van de eindlodging.

Nadat een aantal geschikte lodingen waren uitgezocht, is de invloed van de hellingen op het zandtransport bestudeerd. Het blijkt dat er geen overduidelijke invloed van de hellingen is te constateren.

Een verklaring voor het feit dat de hellingen geen duidelijk zichtbare invloed hebben op de zandtransporten, is beter te begrijpen wanneer de zanddam op schaal getekend wordt. In bijlage P3 is een weergave van de zanddam op schaal gegeven. De verhouding tussen de hoogte van de zanddam en de breedte van de zanddam in het grondvlak zijn zo dat de zanddam bijna niet meer zichtbaar is.

### 5.3.5 Relatie tussen het zandtransport en de waterdiepte.

Uit de zandtransporten die uit de lodingen volgen, is geen duidelijk verband tussen de waterdiepte en de grootte van het zandtransport te vinden (zie tabel 5.5). De waterdiepte is gedefinieerd als de afstand van de voet tot het middenstandsvlak. De  $S_{dam}$  die in de tabel vermeld zijn, zijn exclusief de  $S_{const}$ .

Raai	4	8	12	20	28	34
$S_{dam}$ (incl. poriën) ( $m^3/m/j$ )	21	16	21	25	21	14
Hoogte zanddam (m)	1,4	1,7	1,8	3,8	3,5	2,5
Waterdiepte (m)	15,8	17,7	18,2	19,5	21,0	21,9

Tabel 5.5 Waterdiepte en maximale S.

Dat er geen duidelijk verband bestaat tussen  $S_{dam}$  en de waterdiepte, is deels te verklaren door het feit dat de hoogte van de zanddam ook een evenzo belangrijke rol speelt in de grootte van het zandtransport als de waterdiepte. Hoe hoger de zanddam is, hoe groter het verschil is tussen de snelheden boven de zanddam en de snelheden ten zuiden en ten noorden van de zanddam. Bij hogere snelheden zal er meer zandtransport plaatsvinden. Zoals in tabel 5.5 te zien is, varieert de hoogte van de zanddam nogal over de lengtedoorsnede van de zanddam. In het diepere gedeelte is de hoogte van de zanddam over het algemeen groter, waardoor de zandtransporten ter plaatse van de zanddam toenemen. Het is dus niet vreemd dat zandtransporten in het diepe gedeelte in dezelfde orde van grootte liggen als de zandtransporten in het ondiepere gedeelte.



Om na te gaan in welke orde van nauwkeurigheid de bepaalde zandtransporten ( $S_{dam}$ ) liggen, zijn de raaien 8 en 12 met elkaar vergeleken. Deze twee raaien bevinden zich vrijwel op dezelfde waterdiepte en de hoogte van de zanddam in deze raaien is bij benadering gelijk. Het is te verwachten dat de bepaalde zandtransporten in deze twee raaien bijna hetzelfde zijn. Dit blijkt niet het geval te zijn. Er wordt namelijk een verschil van  $5 \text{ m}^3/\text{m/j}$  gevonden, wat betekent dat er rekening gehouden moet worden met een variatie van tenminste  $5 \text{ m}^3/\text{m/j}$  voor een berekende  $S_{dam}$ .

## **5.4 Zandtransportberekeningen met het nieuwe model van Ribberink.**

### **5.4.1 Inleiding.**

In deze paragraaf worden analytische zandtransportberekeningen uitgevoerd. Het zandtransport dat in dit geval berekend wordt, is het totale zandtransport ( $S_{tot}$ ). Uit deze berekende totale zandtransporten kan ook het zandtransport als gevolg van de verstoring worden bepaald ( $S_{damrib}$ ), zodat de berekende zandtransporten vergeleken kunnen worden met de zandtransporten bepaald aan de hand van lodingen ( $S_{dam}$ , zie paragraaf 5.3).

Het zandtransport wordt op minimaal zeven plaatsen berekend in een dwarsdoorsnede:

- ten zuiden van de zanddam,
- ter plaatse van de top van de zanddam,
- ten noorden van de zanddam,
- ter plaatse van de damvoeten van de zanddam,
- tussen de damvoeten en de top van de zanddam.

Eerst wordt in subparagraaf 5.4.2 het nieuwe zandtransportmodel van Ribberink [Koelewijn en Ribberink, 1994] beschreven. Dit model is geschikt voor gebieden waar stroming en golven tegelijkertijd voorkomen. De keuze is op dit model gevallen, omdat uit paragraaf 5.2 is gebleken dat bij de zanddam zowel golven als stroming invloed hebben op de grootte van het zandtransport. Het model houdt echter geen rekening met suspensief transport. Vervolgens worden in subparagraaf 5.4.3 de aannames en schematiseringen besproken die tijdens de zandtransportberekeningen worden toegepast. In 5.4.4 wordt de invoer gegeven voor het model van Ribberink, waarna in 5.4.5 de resultaten van de zandtransportberekeningen worden gegeven en besproken.

### **5.4.2 Het nieuwe model van Ribberink.**

Het nieuwe model van Ribberink heeft de bodemschuifspanning als uitgangspunt. In 1994 is door Koelewijn en Ribberink [Koelewijn en Ribberink, 1994] onderzocht in hoeverre het nieuwe model van Ribberink toegepast kan worden op situaties waar zowel stroming als golven voorkomen. In eerste instantie bleken de voorspellingen de werkelijk optredende zandtransporten te overschatten. De werkelijke transporten zijn in dit geval de transporten die tijdens proeven in de golftunnel van het Waterloopkundig Laboratorium zijn gemeten. Nadat de uitdrukking voor de wrijvingsfactor voor een combinatie van golven en stroming ( $f_{cw}$  = wrijvingscoëfficiënt) enigszins was bijgesteld, vertoonden de voorspelling goede overeenkomsten met de gemeten transporten.

De tijdsafhankelijke basisformulering wordt gebruikt om uiteindelijk het zandtransport te berekenen en luidt als volgt:

$$\phi_b(t) = m \{ |\theta(t) - \theta_c| \}^n \frac{\theta(t)}{|\theta(t)|} \quad (5.4)$$

- waarin  $\phi_b(t)$  = tijdsafhankelijke dimensieloze transportverhoudings parameter  
 $\theta(t)$  = Shields parameter gebaseerd op de wrijving  
 $\theta_c$  = kritische Shields parameter die de grens van het begin van bewegen van de zandkorrels aangeeft  
 $m$  = empirische coëfficiënt  
 $n$  = empirische exponent

De Shields parameter ( $\theta$ ) wordt gebruikt als "sediment forcing parameter":

$$\theta(t) = \frac{\tau_b(t)}{(\rho_s - \rho)gD_{50}} \quad (5.5)$$

- waarin  $\tau_b(t)$  = tijdsafhankelijke bodemschuifspanning  
 $\rho_s$  = dichtheid van zand  
 $\rho$  = dichtheid van water  
 $g$  = valversnelling

De kritische Shields parameter is afhankelijk van de dimensieloze korrelgrootte:

$$D_* = D_{50} \left[ \frac{g\Delta}{\nu^2} \right]^{\frac{1}{3}} \quad (5.6)$$

- waarin  $\nu$  = kinematische viscositeit van water  
 $\Delta$  = relatieve dichtheid  $(\rho_s - \rho)/\rho$   
 $D_*$  = dimensieloze korrelgrootte

Deze dimensieloze korrelgrootte wordt gebruikt om de kritieke Shields parameter te bepalen, welke gebruikt wordt in formule 5.4. De relatie tussen  $D_*$  en  $\theta_c$  is in bijlage Q1 gegeven.

Voor de uitdrukking van de bodemschuifspanning wordt gebruik gemaakt van de formule van Ribberink/Van Rijn in navolging van Jonsson:

$$\tau_b(t) = 1/2 \rho f_{cw} |u_b(t)| u_b(t) \quad (5.7)$$

waarin  $f_{cw}$  = wrijvingsfactor voor een combinatie van golven en stroming  
 $u_b(t)$  = horizontale tijdsafhankelijke snelheid bij de bodem voor een combinatie van golven en stroming

Voor de parameter  $f_{cw}$  wordt de aangepaste versie gebruikt (niet-lineaire uitdrukking). Het verschil met de oorspronkelijke  $f_{cw}$  is dat de factoren voor  $f_c$  en  $f_w$  onder een wortelteken komen te staan:

$$f_{cw} = \sqrt{\alpha} f_c + (1 - \sqrt{\alpha}) f_w \quad (5.8)$$

met

$$\alpha = \frac{|\langle u_b \rangle|}{|\langle u_b \rangle| + \hat{u}_b}$$

waarin  $\alpha$  = wegingsfactor die gebruikt wordt om de bodemschuifspanning te berekenen  
 $f_c$  = wrijvingsfactor voor stroming  
 $f_w$  = wrijvingsfactor voor golven  
 $\langle u_b \rangle$  = gemiddelde getijstroomsnelheid over 20 minuten  
 $\hat{u}_b$  = amplitude van de orbitaalbeweging

Het zandtransport wordt uiteindelijk bepaald door de tijdsafhankelijke dimensieloze transportverhoudingsparameter te vermenigvuldigen met de parameter die het onderwater gewicht van de zandkorrels representeert:

$$q_b(t) = \phi_b(t) \sqrt{(\Delta g D_{50}^3)} \quad (5.9)$$

waarin  $q_b(t)$  = bodemtransport per eenheid van tijd en breedte

De zandtransporten die met dit model berekend worden, zijn de zandtransporten zonder poriën. Dit is reeds in subparagraaf 5.3.2 toegelicht.

Om de berekeningen te kunnen uitvoeren, is een computerprogramma geschreven. De programmacode is in bijlage Q2 gegeven. De zandtransporten worden alleen in de raaien 4 en 20 berekend.

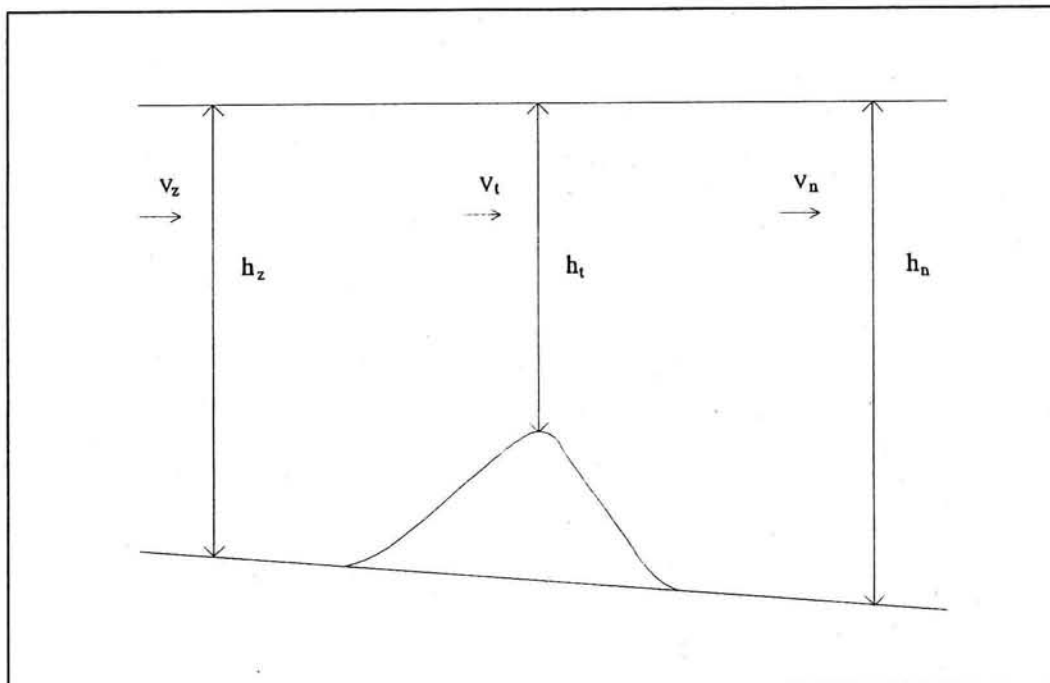
Dit zijn ook twee raaien waarvoor het zandtransport uit de lodingen bepaald is. Voordat het programma gebruikt gaat worden, moeten nog enige opmerkingen geplaatst worden. Voor de berekeningen is uitgegaan van de getijstroomgegevens van Verlaan en Spanhoff (om de 20 minuten één gemiddelde snelheid). Deze metingen beslaan in totaal 58 dagen met zomer- en wintermetingen. Deze 58 dagen worden representatief verondersteld voor een jaar. De berekende zandtransporten worden dus vermenigvuldigd met 365/58. Deze zandtransporten worden in de richting loodrecht op de zanddam berekend. Voor de golfgegevens wordt gebruik gemaakt van het golfklimaat dat vermeld is in tabel 5.6. Per golfperiode wordt voor 30 punten het zandtransport berekend.

### 5.4.3 Schematiseringen.

Voor de invoer van het model moeten een aantal aannames worden gedaan met betrekking tot de getijstroomsnelheid, het golfklimaat en de dwarsdoorsnede van de zanddam. De schematiseringen van deze drie invoerparameters zullen in deze subparagraaf worden gegeven.

#### *Getijstroomsnelheid:*

Voor de bepaling van de getijstroomsnelheid boven de top van de zanddam wordt van een constant debiet uitgegaan en worden "luwte-effecten" (die lagere bodemsnelheden tot gevolg hebben) aan de lij-zijde verwaarloosd. In figuur 5.4 is de schematisering van de snelheid in een dwarsdoorsnede gegeven.



Figuur 5.4 Schematisering snelheid.

De metingen van de getijstroming zijn aan de noordzijde van de zanddam uitgevoerd (zie figuur 3.2), zodat  $h_n$  bekend is. Als uitgegaan wordt van een constant debiet per eenheid van lengte langs de zanddam, is de snelheid in ieder punt in de dwarsdoorsnede te berekenen.

Er geldt:

$Q = h_n v_n = h_p v_p$  wat leidt tot:

$$v_p = \frac{h_n}{h_p} v_n \quad (5.10)$$

waarin  $h_n$  = waterdiepte op 2200 m uit de 0-lijn  
 $h_p$  = waterdiepte ter plaatse van het punt waar het zandtransport berekend wordt  
 $v_n$  = gemiddelde snelheid op 2200 meter uit de 0-lijn  
 $v_p$  = gemiddelde snelheid in het punt waar het zandtransport berekend wordt

De getijstroomsnelheden van Verlaan en Spanhoff zijn op 15 cm boven de bodem gemeten en zijn dus niet de gemiddelde snelheden. Daarom mag formule 5.10 eigenlijk niet direct worden toegepast op de getijstroomsnelheden van Verlaan en Spanhoff en zou gebruik gemaakt moeten worden van formule 5.3 om de snelheden op 15 cm boven de bodem naar gemiddelde getijstroomsnelheden in de verticaal om te rekenen. Het blijkt echter dat er geen grote verschillen in de snelheden ontstaan wanneer de snelheden op 15 cm boven de bodem direct worden omgerekend via formule 5.10 naar de snelheid op 15 cm boven de bodem ter plaatse van het punt waar het zandtransport berekend wordt.

De metingen van de getijstroomsnelheden zijn aan de noordzijde van de zanddam uitgevoerd (Indusbank Noord), zodat voor de zandtransportberekeningen de snelheid aan de noordelijke rand (2200 m uit de 0-lijn) van het lodingsgebied bekend verondersteld wordt. Dus voor iedere raai wordt op 2200 m uit de 0-lijn de snelheid gelijk gesteld aan de gemeten snelheid. Deze aanname is niet geheel correct, omdat er in de richting evenwijdig aan de zanddam verschillen in de snelheden kunnen zijn. De waterdiepten zijn namelijk niet gelijk in de langsdoorsnede.

#### **Golfklimaat:**

Voor het golfklimaat leek de schematisering, zoals in paragraaf 3.5 is aangegeven, geschikt. Deze schematisering is gebaseerd op de richtingsverdeling van de wind. De formule van Ribberink bevat geen parameter die de relatie tussen de richting van de golven en de getijstroming aangeeft. Door Bijker [1967] is de bepaling van de bodemschuifspanning voor een combinatie van golven en stroming theoretisch benaderd. Hieruit is gebleken dat de hoek die de golven met de getijstroom maken niet van belang is. De golven alleen geven geen resulterend netto zandtransport (aanname golfsymmetrie tijdens de berekeningen), maar golven kunnen wel voor een opwoeling van het sediment zorgen.

Tijdens de zandtransportberekeningen met het model van Ribberink wordt er vanuit gegaan dat de hoek tussen de golven en de stroming niet van belang is voor het zandtransport.

Voor de invoer van het golfklimaat zal een andere schematisering worden gebruikt dan de schematisering die vermeld is in paragraaf 3.5. Deze nieuwe schematisering is gebaseerd op de golfhoogteverdeling met bijbehorende golfperiode [Roskam, nog niet gepubliceerd]. Hierdoor worden de hogere golven, die juist voor grotere zandtransporten zorgen, ook in de zandtransportberekening meegenomen. In tabel 5.6 is de schematisering van het golfklimaat, die voor de zandtransportberekeningen wordt gebruikt, gegeven.

$H_{m01}$ (m)	$T_{m01}$ (s)	Frequentie (%)
0,36	3,86	16,225
0,75	4,24	33,179
1,25	4,60	23,418
1,75	4,97	13,291
2,25	5,35	7,057
2,75	5,76	3,824
3,25	6,10	1,705
3,75	6,51	0,754
4,25	6,88	0,358
5,00	7,25	0,189

Tabel 5.6 Golfklimaat (uit Roskam, nog niet gepubliceerd).

#### **Dwarsdoorsnede van de zanddam:**

De bodem in het lodingsgebied heeft enigszins een onregelmatige verloop. Daarom wordt de bodem in de dwarsdoorsneden geschematiseerd. De schematisaties van de raaien 4 en 20 zijn in bijlage R weergegeven.

#### **5.4.4 Invoer benodigd voor de zandtransportberekeningen.**

Voor de invoer zijn een aantal gegevens nodig. De volgende gegevens zijn constanten en zijn voor iedere berekening die uitgevoerd wordt hetzelfde:

- De dichtheid van het zand ( $\rho_s$ ) : 2650 kg/m<sup>3</sup>
- De dichtheid van het zeewater ( $\rho$ ) : 1025 kg/m<sup>3</sup>

- De relatieve dichtheid  $(\rho_s - \rho) / \rho$  : 1,58
- De valversnelling (g) : 9,81 m/s<sup>2</sup>
- De kinematische viscositeit van water ( $\nu$ ) :  $1,25 \cdot 10^{-6}$  m<sup>2</sup>/s
- De hoek van de as van de zanddam met het noorden ( $\phi$ ) : 45°
- De getijstroomsnelheden (v) : (digitale) gegevens van Verlaan en Spanhoff

Per individuele berekening moeten nog een aantal parameters worden ingevoerd:

- De gemiddelde korreldiameter ( $D_{50}$ )
- De  $D_{90}$ : 90% van de zandkorrels is kleiner dan deze  $D_{90}$ .
- De amplitude van de orbitaalbeweging ( $\hat{u}_b$ )
- De factor waarmee de ingelezen snelheid wordt omgerekend naar de snelheid in het punt waar de zandtransportberekening wordt uitgevoerd.

Tijdens de berekeningen is gebleken dat de  $k_s$  (= de bodemruwheidshoogte) die door Ribberink wordt aanbevolen ( $3\theta D_{90}$  voor  $\theta > 1$  en  $3D_{90}$  voor  $\theta \leq 1$ ), onwaarschijnlijk kleine zandtransporten geeft. Reëlere zandtransporten worden gevonden voor grotere waarden van  $k_s$ . Dit kan als volgt opgevat worden: in een grotere waarde voor  $k_s$  is impliciet een ribbelfactor verwerkt. Dit lijkt een plausibele aanname, omdat de proeven die zijn uitgevoerd om het zandtransportmodel te controleren en eventueel bij te stellen [Koelewijn en Ribberink, 1994], zijn uitgevoerd onder "sheetflow" condities (dus gladde bodem).

In de praktijk wordt vaak een bodemruwheidshoogte van 0,06 m aangehouden, wat tot een Chézy-waarde in het lodingsgebied van 63 m<sup>1/2</sup>/s leidt.

Door Van Rijn [1984] wordt geadviseerd om de bodemruwheidshoogte gelijk aan  $3D_{90}$  te stellen; in dit geval varieert  $k_s$  tussen de 0,00114 en de 0,0021 m, wat een Chézy-waarde in het lodingsgebied van ongeveer 73 m<sup>1/2</sup>/s tot gevolg heeft.

Bij het Waterloopkundig laboratorium zijn zandtransportberekeningen voor de Nederlandse kust uitgevoerd [Van Rijn, 1995]. Tijdens deze berekeningen worden voor stroming en golven aparte bodemruwheidshoogten aangehouden. Voor stroming wordt een bodemruwheidshoogte van 0,01 tot 0,1 m aangehouden en voor golven wordt een bodemruwheidshoogte verondersteld die tussen de 0,01 en de 0,05 m varieert.

De berekeningen met het model van Ribberink zullen met verschillende bodemruwheidshoogten worden uitgevoerd ( $k_s = 3D_{90}$  m,  $k_s = 0,005$  m,  $k_s = 0,01$  m,  $k_s = 0,03$  m en  $k_s = 0,06$  m), zodat de invloed van de bodemruwheidshoogte op het zandtransport duidelijk wordt. Door de berekende zandtransporten met de verschillende bodemruwheidshoogten te vergelijken met de bepaalde zandtransporten uit de lodingen, kan de bodemruwheidshoogte worden afgeschat (hierin is dan ook de genoemde ribbelfactor verwerkt).

In tegenstelling tot de praktijk zijn de golven en de stroming in de modelproeven [Koelewijn en Ribberink, 1994] gelijk gericht. Tijdens de zandtransportberekeningen is de richting van de stroming en de golven ook gelijk gericht verondersteld. Wanneer de theorie van Bijker ook op het model van Ribberink van toepassing is, is dit een goede veronderstelling. Om te controleren of de richting van de golven ten opzichte van de richting van de getijstroming niet uitmaakt voor de grootte van de zandtransporten, zijn ook berekeningen uitgevoerd, waarin wordt uitgegaan dat de richting van de golven loodrecht op de richting van de getijstroming staat. De getijstroomsnelheid en de orbitaalbeweging worden dan vectorieel opgeteld. Als er aanmerkelijke verschillen optreden, fungeren de berekende waarden als een ondergrens voor het optredende zandtransport. Om de invloed van de orbitaalbeweging op de berekende zandtransporten na te gaan, zijn voor raai 4 (1995) ook een aantal berekeningen uitgevoerd, waarin de orbitaalsnelheid gelijk aan nul gesteld is.

#### **5.4.5 Resultaten van de zandtransportberekeningen.**

In deze subparagraaf worden de resultaten van de zandtransportberekeningen, die met het nieuwe model van Ribberink zijn uitgevoerd, beschreven. Voordat de uiteindelijke resultaten worden gegeven, wordt eerst de invloed van de richting en de grootte van de golven op het zandtransport aangegeven (zie tabel S2 in bijlage S).

##### ***Getijstroming en geen golven:***

Uit de berekeningen die met en zonder orbitaalbeweging zijn uitgevoerd, blijkt dat de invloed van de golven aanzienlijk is. De zandtransporten zijn zonder golfinvloed ongeveer een factor 6 kleiner dan wanneer de golfinvloed tijdens de zandtransportberekeningen wordt meegenomen.

##### ***Golven loodrecht op de getijstroming:***

Voor de bepaling van de ondergrens van de optredende zandtransporten, wordt de richting van de golven loodrecht op de getijstroom genomen. Deze zandtransportberekeningen zijn ook uitgevoerd voor raai 20 (1995) met een  $k_s$ -waarde van 0,01 m.

##### **- Aanpassen $u_b(t)$ :**

In het model is alleen de  $u_b(t)$  (horizontale tijdsafhankelijke snelheid bij de bodem voor een combinatie van golven en stroming) aangepast. Voor  $u_b(t)$  is de resultante van de orbitaalbeweging ( $\hat{u}_b$ ) en de getijstroming ( $v$ ) genomen.

##### **- Aanpassen $u_b(t)$ en $\alpha$ :**

Het is niet geheel duidelijk of in de wegingsfactor  $\alpha$  ook een verandering moet worden aangebracht. Om de invloed van een verandering in  $\alpha$  na te gaan, worden berekeningen met een aangepaste  $\alpha$  uitgevoerd. In de noemer kan de lineaire optelling van de amplitude van de orbitaalbeweging en de getijstroom vervangen worden door de resultante. Deze resultante is kleiner dan de onaangepaste noemer, waardoor  $\alpha$  groter wordt in vergelijking tot de onaangepaste  $\alpha$ . Wanneer  $\alpha$  groter wordt, wordt de invloed van de stroming groter en de invloed van de golven kleiner (zie formule 5.8).

In tabel 5.7 zijn de resultaten van de zandtransportberekeningen met aangepaste  $u_b(t)$  en  $\alpha$  vermeld. Uit tabel 5.7 volgt dat wanneer alleen  $u_b(t)$  aangepast wordt, de ondergrens niet veel lager ligt dan de bovengrens.



Wanneer echter de wegingsfactor ( $\alpha$ ) ook wordt aangepast in de noemer, ontstaat er wel een groot verschil met de bovengrens. Aangezien het niet geheel duidelijk is of de wegingsfactor aangepast mag worden om een ondergrens te bepalen, wordt deze als ondergrens buiten beschouwing gelaten. Duidelijk is wel dat de wegingsfactor een grote invloed heeft op de grootte van het zandtransport.

***Golven evenwijdig aan de getijstrooming:***

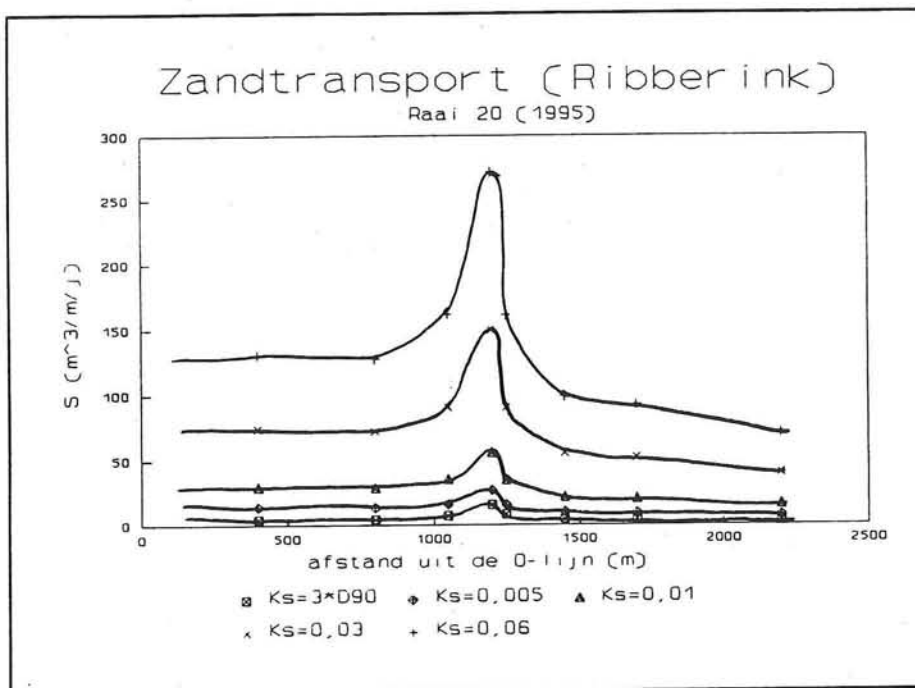
Naast de zandtransporten loodrecht op de zanddam is voor raai 20 ook het zandtransport evenwijdig aan de zanddam berekend met een  $k_s$ -waarde van 0,01 m. Deze waarden zijn in tabel S3 in bijlage S opgenomen. Hieruit blijkt dat het zandtransport evenwijdig aan de zanddam kleiner is dan het zandtransport loodrecht op de zanddam. Dit is te verwachten, omdat de overheersende getijstroomrichting ongeveer loodrecht op de zanddam staat. Desondanks zijn de zandtransporten evenwijdig aan de zanddam redelijk groot in vergelijking met de zandtransporten loodrecht op de zanddam. Het zandtransport evenwijdig aan de zanddam is ongeveer 60% van het zandtransport loodrecht op de zanddam. De oorzaak van dit relatief kleine verschil is dat het aandeel van getijstroomsnelheden die een kleinere hoek maken met de as van de zanddam toeneemt, naarmate de orbitaalsnelheden groter zijn (hogere golven). De grotere orbitaalsnelheden kunnen samen met deze kleinere getijstroomsnelheden ook de grens van begin van bewegen van de zandkorrels bereiken. Wanneer de getijstrooming een hoek met de as van de zanddam maakt die kleiner is dan  $45^\circ$ , is de zandtransportcomponent evenwijdig aan de as van de zanddam groter dan de zandtransportcomponent loodrecht op de as van de zanddam.

Afstand tot 0-lijn	$\hat{u}_b // v$ (bovengrens)	$\hat{u}_b \perp v$ (ondergrens)	$\hat{u}_b \perp v$ en aangepaste $\alpha$
400 m	28,6	24,9	8,8
800 m	27,9	24,3	8,6
1050 m	34,4	29,6	10,4
1200 m	54,9	47,9	19,2
1250 m	34,1	29,2	10,1
1450 m	20,9	17,9	5,9
1700 m	19,4	16,6	5,4
2200 m	14,8	12,7	3,9

Tabel 5.7 Bepaling van de ondergrens van de berekende zandtransporten (eenheid:  $m^3/m/j$ ).

In subparagraaf 5.4.4 is reeds aangegeven dat de  $k_s$ -waarde waarmee de berekeningen worden uitgevoerd grote invloed heeft op de zandtransporten.

Om eerst een indruk te geven van de invloed van de bodemruwheidshoogte op het zandtransport, worden in figuur 5.5 de S-curves van raai 20 (1995) weergegeven die uit de berekeningen zijn gevolgd met de vijf verschillende  $k_s$ -waarden. In deze figuur komt de invloed van de grootte van de  $k_s$ -waarde op de zandtransporten duidelijk naar voren.



Figuur 5.5 Invloed van de bodemruwheidshoogte op het zandtransport (raai 20, 1995).

Nadat de zandtransportberekeningen met de verschillende bodemruwheidshoogten zijn uitgevoerd, kan geschat worden met welke bodemruwheidshoogte de berekende zandtransporten het beste de zandtransporten uit de metingen benaderen. Daartoe worden in de tabellen 5.8a en b de resultaten van de berekeningen met verschillende bodemruwheidshoogten met het zandtransportmodel van Ribberink gegeven. In deze tabellen zijn de zandtransporten (exclusief  $S_{const}$ ) ter plaatse van de top van de zanddam gegeven. De berekende zandtransporten met het model van Ribberink ( $S_{damrib}$ ) kunnen worden vergeleken met de zandtransporten die bepaald zijn uit de lodingen ( $S_{dam}$ ).  $S_{dam}$  (exclusief poriën) varieert gemiddeld over een periode van 12,5 jaar tussen de 8,4 en de 15  $m^3/m/j$ .

De vetgedrukte waarden in de tabellen 5.8a en b zijn de waarden voor  $S_{damrib}$  die het beste overeenkomen met de waarden bepaald uit de lodingen.

Bij de interpretatie van de  $k_s$ -waarden moet wel rekening gehouden worden met het verschil in hoogte van de zanddam. In raai 4 is de hoogte van de zanddam in 1995 een stuk lager dan in 1986. Dit heeft tot gevolg dat  $S_{\text{damrib}}$  kleiner zal zijn in het jaar 1995 in vergelijking met het jaar 1986. De volledige uitwerking van de berekeningen zijn in verschillende tabellen in bijlage S gegeven.

	Raai 4 (1986)			Raai 4 (1995)			
$k_s$ (m)	<b>0,005</b>	0,01	0,03	$3D_{90}$	0,005	<b>0,01</b>	0,03
$S_{\text{damrib}}$ ( $\text{m}^3/\text{m}/\text{j}$ )	<b>13</b>	37	70	3,2	4	<b>7</b>	40

Tabel 5.8a Berekende  $S_{\text{damrib}}$  voor raai 4 met het nieuwe zandtransportmodel van Ribberink.

	Raai 20 (1995)				
$k_s$ (m)	$3D_{90}$	<b>0,005</b>	0,01	0,03	0,06
$S_{\text{damrib}}$ ( $\text{m}^3/\text{m}/\text{j}$ )	<b>12</b>	<b>16</b>	30	90	170

Tabel 5.8b Berekende  $S_{\text{damrib}}$  voor raai 20 met het nieuwe zandtransportmodel van Ribberink.

Uit beide tabellen volgt dat de bodemruwheidshoogte rond de 0,005 m moet liggen. Om de bodemruwheidshoogte beter te kunnen schatten, is in figuur 5.6  $S_{\text{damrib}}$  uitgezet tegen de bodemruwheidshoogte voor zowel raai 4 (1986 en 1995) als raai 20. De zandtransporten die bij de bodemruwheidshoogten van  $3D_{90}$ , 0,005 en 0,01 m horen, worden in deze figuur opgenomen, zodat de  $k_s$ -waarde die geschat moet worden, te bepalen is. In figuur 5.6 kunnen de bodemruwheidshoogten die bij de minimale en de maximale waarden van  $S_{\text{damrib}}$  liggen, worden afgelezen. Uit figuur 5.6 wordt een bodemruwheidshoogte geschat die tussen de 0,003 en 0,006 m in ligt. Voor het vervolg van de berekeningen zal van een bodemruwheidshoogte van 0,005 m uitgegaan worden.

Om in paragraaf 5.6 de berekende zandtransporten te kunnen vergelijken met de zandtransporten die uit de nota van Van Rijn volgen, zijn de totale zandtransporten die berekend zijn met het model van Ribberink van belang. Dus de zandtransporten inclusief  $S_{\text{const}}$ . Deze totale zandtransporten zijn in figuur 5.7 weergegeven voor de raaien 4 (1986 en 1995) en 20 (1995).

Bij de interpretatie van de  $k_s$ -waarden moet wel rekening gehouden worden met het verschil in hoogte van de zanddam. In raai 4 is de hoogte van de zanddam in 1995 een stuk lager dan in 1986. Dit heeft tot gevolg dat  $S_{damrib}$  kleiner zal zijn in het jaar 1995 in vergelijking met het jaar 1986. De volledige uitwerking van de berekeningen zijn in verschillende tabellen in bijlage S gegeven.

	Raai 4 (1986)			Raai 4 (1995)			
$k_s$ (m)	<b>0,005</b>	0,01	0,03	$3D_{90}$	0,005	<b>0,01</b>	0,03
$S_{damrib}$ ( $m^3/m/j$ )	<b>13</b>	37	70	3,2	4	<b>7</b>	40

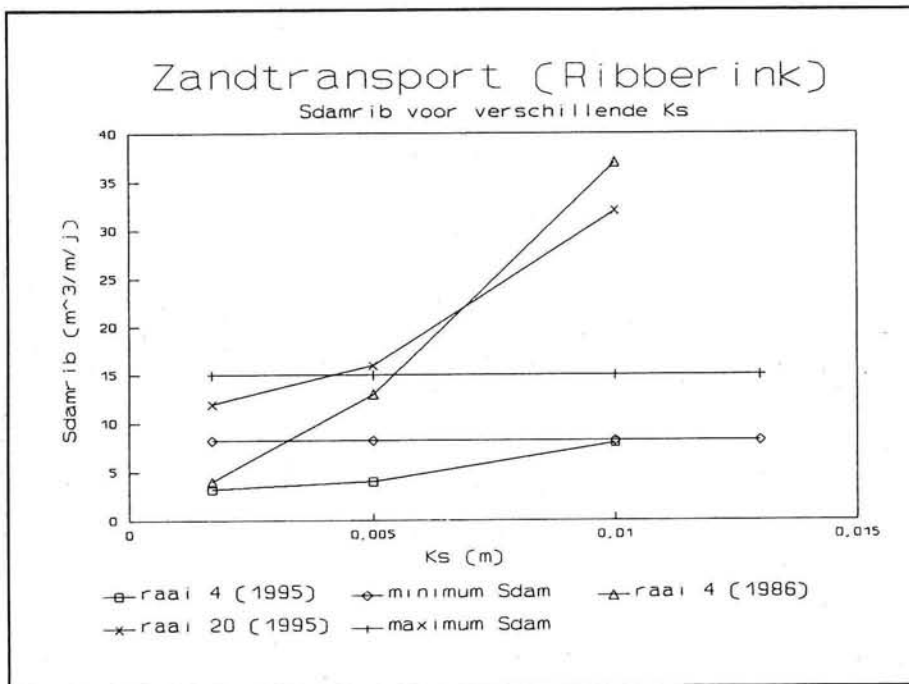
Tabel 5.8a Berekende  $S_{damrib}$  voor raai 4 met het nieuwe zandtransportmodel van Ribberink.

	Raai 20 (1995)				
$k_s$ (m)	$3D_{90}$	<b>0,005</b>	0,01	0,03	0,06
$S_{damrib}$ ( $m^3/m/j$ )	<b>12</b>	<b>16</b>	30	90	170

Tabel 5.8b Berekende  $S_{damrib}$  voor raai 20 met het nieuwe zandtransportmodel van Ribberink.

Uit beide tabellen volgt dat de een bodemruwheidshoogte rond de 0,005 m moet liggen. Om de bodemruwheidshoogte beter te kunnen schatten, is in figuur 5.6  $S_{damrib}$  uitgezet tegen de bodemruwheidshoogte voor zowel raai 4 (1986 en 1995) als raai 20. De zandtransporten die bij de bodemruwheidshoogten van  $3D_{90}$ , 0,005 en 0,01 m horen, worden in deze figuur opgenomen, zodat de  $k_s$ -waarde die geschat moet worden, te bepalen is. In figuur 5.6 kunnen de bodemruwheidshoogten die bij de minimale en de maximale waarden van  $S_{damrib}$  liggen, worden afgelezen. Uit figuur 5.6 wordt een bodemruwheidshoogte geschat die tussen de 0,003 en 0,006 m in ligt. Voor het vervolg van de berekeningen zal van een bodemruwheidshoogte van 0,005 m uitgegaan worden.

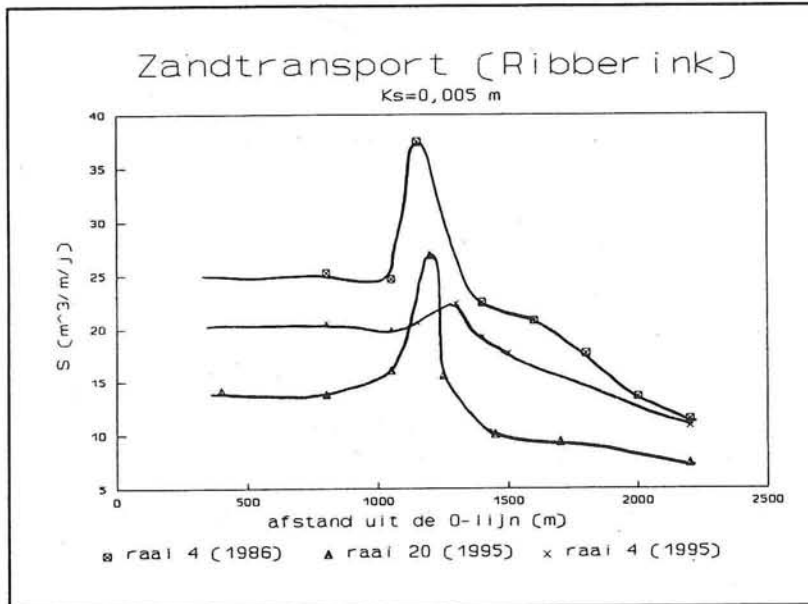
Om in paragraaf 5.6 de berekende zandtransporten te kunnen vergelijken met de zandtransporten die uit de nota van Van Rijn volgen, zijn de totale zandtransporten die berekend zijn met het model van Ribberink van belang. Dus de zandtransporten inclusief  $S_{const}$ . Deze totale zandtransporten zijn in figuur 5.7 weergegeven voor de raaien 4 (1986 en 1995) en 20 (1995).



Figuur 5.6 Zandtransporten ( $S_{damrib}$ ) uitgezet tegen de bodemruwheidshoogten.

In figuur 5.7 is duidelijk te zien dat de zandtransporten in raai 4 in 1995 kleiner zijn dan in 1986. Dit heeft te maken met de afname van de hoogte van de zanddam in de tijd en de vergroving van het zand (vooral de vergroving van het zand op de zanddam zelf). Verder is waar te nemen dat de zandtransporten boven de zanddam het grootste zijn en afnemen naarmate de diepte toeneemt in dezelfde raai. Dit is als volgt te verklaren: Op 2200 m uit de 0-lijn (het diepste punt van de raai) wordt de snelheid bekend verondersteld. Deze snelheid wordt als basis genomen voor de overige snelheden in die raai. Wanneer het ondieper wordt, zullen de snelheden toenemen en dus ook de zandtransporten.

De kleinere zandtransporten ten noorden van de zanddam, in vergelijking tot de zandtransporten ter plaatse van de zanddam, betekenen dat er sedimentatie in het gebied ten noorden van de zanddam optreedt. De zandtransportcapaciteit neemt namelijk af. Deze constatering komt niet overeen met de resultaten die in hoofdstuk 4 en in paragraaf 5.3 zijn gevonden voor de zandtransporten. Dit verschil heeft waarschijnlijk te maken met de aangenomen snelheidsverdeling in de raaien. Het verdient daarom de aanbeveling de snelheidsverdeling in de buurt van de zanddam nader te onderzoeken (bijvoorbeeld door het "nesten" van de zanddam in Triwaq; dit is reeds in paragraaf 3.6 aanbevolen).



Figuur 5.7 Zandtransporten berekend met het nieuwe model van Ribberink ( $k_s = 0,005$ ).

Verder is uit figuur 5.7 op te maken dat de zandtransporten op dieper water (raai 20) kleiner zijn dan op ondieper water (raai 4). Dit verschil wordt waarschijnlijk veroorzaakt door de minder grote invloed van de golven (kleinere orbitaalsnelheid). De hoogte van de zanddam heeft vooral invloed op het verschil in grootte van het zandtransport tussen de voet van de zanddam en de top van de zanddam ( $= S_{\text{dam}}$  of  $S_{\text{damrib}}$ ).

## 5.5 Zandtransporten volgens de nota van Van Rijn en het rapport Wijk aan Zee.

### 5.5.1 Inleiding.

In deze paragraaf worden de bevindingen met betrekking tot de bepaling van de optredende zandtransporten uit eerdere onderzoeken beschreven. Ten eerste worden de resultaten, die door Van Rijn [Van Rijn, 1995] zijn gevonden, beschreven in subparagraaf 5.5.2, gevolgd door de bevindingen uit het onderzoek van een puntstort bij Wijk aan Zee [Verhagen en Wiersma, 1992] in subparagraaf 5.5.3. De keuze om deze twee nota's als vergelijking te nemen is gebaseerd op het feit dat deze twee nota's betrekking hebben op beschrijvingen en waarnemingen van zandtransporten op vergelijkbare waterdiepten als bij de zanddam.

### **5.5.2 Resultaten uit de nota van Van Rijn.**

Van Rijn heeft in het kader van Kustgenese de resultaten verzameld van de onderzoeken die in de afgelopen vijf jaar met betrekking tot de zandtransporten langs de Nederlandse kust zijn uitgevoerd [Van Rijn, 1995]. Het betreft hier vrijwel geen resultaten van zandtransporten die uit praktijkonderzoeken volgen, maar resultaten die voornamelijk op zandtransportmodellen zijn gebaseerd. De zandtransportberekeningen zijn uitgevoerd voor zowel langs- als dwarstransport. Verder moet nog vermeld worden dat de zandtransporten die uit deze berekeningen volgen uit zowel suspensief- als bodemtransport bestaan. De verdeling van het totale optredende zandtransport in bodemtransport en suspensief transport is ongeveer 60% bodemtransport en 40% suspensief transport wat de transporten op de 20 m dieptelijn betreft. Voor de zandtransporten in ondieper water (8 m dieptelijn) is het aandeel van suspensief transport juist groter. De resultaten van de berekeningen zijn de zandtransporten zonder poriën.

Door het Waterloopkundig Laboratorium zijn onder andere berekeningen uitgevoerd voor zandtransporten die op een diepte van NAP -20 m voorkomen. Het gemiddelde jaarlijkse totale langtransport is noordwaarts gericht en varieert tussen de 10 en 40 m<sup>3</sup>/m/j. De ondergrens is gerelateerd aan een reductie van de getijstroomsnelheden en de bovengrens is gerelateerd aan een relatief kleine gemiddelde korreldiameter. Het gemiddelde jaarlijkse dwarstransport varieert tussen de 0 en de 10 m<sup>3</sup>/m/j. De bovengrens is voornamelijk gerelateerd aan een dichtheidsgradiënt. Deze gemiddelde jaarlijkse zandtransporten gelden voor berekeningen die ter hoogte van Noordwijk zijn gemaakt.

Ook zijn er berekeningen gemaakt die gebaseerd zijn op het Bailard-Bagnold model. Met dit model wordt een langtransport berekend van 32 m<sup>3</sup>/m/j en een dwarstransport van 0 m<sup>3</sup>/m/j.

Uit de zandtransportberekeningen die door Roelvink en Stive gemaakt zijn in 1989, volgt een langtransport van 4 m<sup>3</sup>/m/j en een dwarstransport van 3 m<sup>3</sup>/m/j.

In bijlage T zijn twee figuren weergegeven. In figuur T1 zijn de effecten van het model en de verschillende invoerparameters op de grootte van de dwarstransporten verwerkt en in figuur T2 wordt een overzicht van het langtransport gegeven.

In tabel 5.9, die overgenomen is uit Van Rijn [1995], wordt een zo goed mogelijke schatting gegeven van het jaarlijks gemiddelde zandtransport in langs- en dwarsrichting (ten opzichte van de kust) in vier raaien langs de Nederlandse kust.

Dwarsprofiel	Gemiddelde jaarlijkse zandtransport (m <sup>3</sup> /m/j) (alle waarden exclusief poriën)			
	Dwarstransport		Langstransport	
	Diepte=20 m	Diepte=8 m	Diepte=20 m	Diepte=8 m
14 Callantsoog	3 ± 5	0 ± 5	45 ± 20	90 ± 40
40 Egmond	10 ± 5	0 ± 5	35 ± 15	80 ± 35
76 Noordwijk	5 ± 5	0 ± 5	20 ± 10	50 ± 30
103 Scheveningen	0 ± 5	0 ± 5	15 ± 10	40 ± 25

+ = noord/kustwaarts - = zuid/zeewaarts

Tabel 5.9 Langs- en dwarstransport voor een aantal dwarsdoorsneden langs de Nederlandse kust.

### 5.5.3 Resultaten uit het rapport Wijk aan Zee.

In 1982 is er een puntstort ter hoogte van Wijk aan Zee aangebracht. Deze puntstort is tussen de NAP -10 m en NAP -15 m dieptelijn aangebracht en had bij aanleg een maximale hoogte van 1,2 m. De puntstort is aangelegd om de omvang en de richting van eventueel optredend zandtransport in de kustzone vast te stellen. Voor de evaluatie is gebruik gemaakt van een vijftal lodingen (1982, 1984, 1985, 1987 en 1990). Bij de interpretatie is geen rekening gehouden met nauwkeurigheden van de lodingen.

De resultaten van het onderzoek zijn:

- De snelheid waarmee de top verplaatst is in het ondiepe gedeelte groter dan in het diepe gedeelte. De verplaatsingssnelheden zijn respectievelijk 25 m/j en 40 m/j.
- Verdraaiing van de top met gemiddeld 1,5° per jaar; dit is een verplaatsing in N.O.-richting.
- De verplaatsing wordt bepaald door de dagelijks optredende golf- en stromingsomstandigheden en niet door extreme condities.
- Het transport is parallel aan de dieptelijnen ter plaatse en is 20 m<sup>3</sup>/m/j gemiddeld over de laatste 8 jaar. Wanneer alleen de stortberg wordt beschouwd is het transportvolume bij benadering 40 m<sup>3</sup>/m/j. Deze waarden zijn inclusief poriën.
- Een kustwaarts transport, zoals uit analytische berekeningen voor de kustzone volgt, is uit het onderzoek niet direct vast te stellen.
- Verstoringen zoals een zandstort of zandwinput zijn wel van invloed op de zandhuis-houding in de kustzone.



- Uit de waarnemingen kan geen conclusie worden getrokken, dat zandsuppleties op een waterdiepte van NAP -14 m een aanzanding kustwaarts veroorzaken. Ook het tegenovergestelde, een verlies van zand zeewaarts, is niet geconstateerd.

## 5.6 Vergelijking tussen de berekende en waargenomen zandtransporten.

Voordat met de vergelijking van de verschillende uitkomsten wordt gestart, worden enige opmerkingen geplaatst met betrekking tot de evaluatie van de puntstort ter hoogte van Wijk aan Zee (subparagraaf 5.5.3) en de nota van Van Rijn (subparagraaf 5.5.2).

Puntstort ter hoogte van Wijk aan Zee:

- Het is niet duidelijk of de kuberingen voor het hele gebied (4724400 m<sup>2</sup>) gelden of alleen voor het stortgebied (645000 m<sup>2</sup>). Wanneer de kuberingen over het hele gebied zijn berekend, vallen de veranderingen, als ze naar een gemiddelde verlaging/verhoging worden omgerekend, ruimschoots binnen de herhaalbaarheid. Ook als de kuberingen gebaseerd zijn op alleen het stortgebied, vallen de veranderingen binnen de herhaalbaarheid. Het lijkt dat de kuberingen alleen voor het stortgebied zijn uitgevoerd, maar de conclusies die in het rapport worden gemaakt over de transportcapaciteit suggereren een kubering over het hele gebied.
- Tijdens de verwerking van de resultaten is geen rekening gehouden met lodingson nauwkeurigheden. Er zijn echter ter plaatse van de top wel duidelijk veranderingen waar te nemen, zodat deze aanname geen negatieve invloed heeft gehad op de analyse die in het stortgebied is uitgevoerd.
- Gezien de huidige inzichten op het onderzoeken van verstoringen en hun effecten op zandtransporten, is de methode waarmee de zandtransporten in deze evaluatie zijn berekend te grof, omdat de grootte van het zandtransport afhangt van de grootte van het gebied waarover je kubeert. Zeker wanneer er een verstoring is aangebracht, moeten de zandtransporten over kleinere oppervlakten bepaald worden dan in dit geval gedaan is. Ook is er bij het formuleren van het zandtransport geen rekening gehouden met constante zandtransporten die optreden. Deze constante transporten kunnen namelijk alleen bepaald worden uit kuberingen als er randvoorwaarden worden opgelegd wat betreft het initiële zandtransport. De berekende zandtransporten over de laatste acht jaar zijn gemiddeld 20 m<sup>3</sup>/m/j voor het hele lodingsgebied en gemiddeld 40 m<sup>3</sup>/m/j voor alleen het stortgebied. Deze waarden betekenen dat over een strook van 1 m breed over een lengte van 1840 m respectievelijk 430 m jaarlijks 20 m<sup>3</sup> respectievelijk 40 m<sup>3</sup> verdwijnt. Als deze waarde van 40 m<sup>3</sup>/m/j wordt teruggerekend naar een resulterende erosie, zou dit betekenen dat er uit het stortgebied een verlies optreedt van 480.000 m<sup>3</sup> in 8 jaar tijd. Deze waarde is hoger dan het totale verlies uit het lodingsgebied. Waarschijnlijk is de stortberg voor een groot deel uit het stortgebied verplaatst naar het overige gedeelte in het lodingsgebied.

Voor de vergelijking van de zandtransporten is het beter de zandtransporten te splitsen in een zandtransport in het stortgebied ( $40 \text{ m}^3/\text{m/j}$ ) en een zandtransport dat in het overige gedeelte van het lodingsgebied optreedt ( $((1860 * 20 - 430 * 40)/(1860 - 430) = 14 \text{ m}^3/\text{m/j}$ ). De genoemde waarden zijn de zandtransporten inclusief de poriën.

Nota van Van Rijn:

Er moet rekening gehouden worden met het feit dat de genoemde zandtransporten in de nota van Van Rijn vooral gebaseerd zijn op modelresultaten en niet op in de praktijk uitgevoerde proeven. Ook bestaan de berekende zandtransporten uit suspensief transport en bodemtransport.

In tabel 5.10 zijn de bepaalde zandtransporten uit de lodingen en de berekende zandtransporten bij elkaar gevoegd, zodat een duidelijk overzicht ontstaat.

	Kuberingen (lodingen)	Ribberink $k_s = 0,005$		Wijk aan Zee	Van Rijn
$S_{\text{dam}}$ (zonder en $S_{\text{const}}$ )  ( $\text{m}^3/\text{m/j}$ )	8,4 tot 15	Raai 4 (1986)	13	stortgebied  15,6	
		Raai 4 (1995)	4		
		Raai 20 (1995)	16		
$S_{\text{const}}$ (zonder versto- ring zanddam)  ( $\text{m}^3/\text{m/j}$ )		Raai 4 (1986)	12 tot 26	onver- stoord  8,4	5 tot 25
		Raai 4 (1995)	11 tot 21		
		Raai 20 (1995)	7 tot 15		

Tabel 5.10 Bepaalde en berekende langstransporten op vergelijkbare diepten (alle waarden exclusief poriën).

Bij de interpretatie van de gegevens die in de tabel zijn opgenomen, moet er rekening mee gehouden worden dat de zandtransporten:

- uit de nota van Van Rijn voor een diepte van 20 m gelden,
- uit het rapport Wijk aan Zee voor een diepte van 10 tot 15 m gelden,
- in raai 20 voor een diepte van 19 tot 21 m gelden (bij de top 15,5 m),
- in raai 4 voor een diepte van 15 tot 18 m gelden.

Dus de berekeningen die in raai 20 zijn uitgevoerd, kunnen het beste met de resultaten uit de nota van Van Rijn worden vergeleken. Dit zijn beide de totale langstransporten op een diepte van ongeveer 20 m. Al zijn de berekeningen uit Van Rijn berekend uitgaande van zowel suspensief als bodemtransport.

De berekeningen die in raai 4 bepaald zijn uit de lodingen, kunnen het beste met de resultaten vergeleken worden die uit de puntstort bij Wijk aan Zee volgen. De waarde  $15,6 \text{ m}^3/\text{m/j}$  (puntstort Wijk aan Zee) is opgebouwd uit het zandtransport ter plaatse van de verstoring ( $24 \text{ m}^3/\text{m/j}$ ) min het onverstoorde zandtransport ( $8,4 \text{ m}^3/\text{m/j}$ ).

***Bepalen van  $S_{\text{damrib}}$  aan de hand van de zandtransporten die uit de lodingen bepaald zijn:***

De  $S_{\text{dam}}$  die uit de lodingen zijn bepaald, komen goed overeen met de  $S_{\text{damrib}}$  die berekend zijn met een bodemruwheidshoogte van 0,005 m met het nieuwe model van Ribberink. In raai 4 is  $S_{\text{dam}}$  uit de lodingen gelijk aan  $12,6 \text{ m}^3/\text{m/j}$  en  $S_{\text{damrib}}$  is gelijk aan  $13 \text{ m}^3/\text{m/j}$  in 1986 en  $4 \text{ m}^3/\text{m/j}$  in 1995. In raai 20 is  $S_{\text{dam}}$  gelijk aan  $15 \text{ m}^3/\text{m/j}$  en  $S_{\text{damrib}}$  gelijk aan  $16 \text{ m}^3/\text{m/j}$  (zie tabel 5.4).

Nu vastgesteld is met welke bodemruwheidshoogte de berekeningen met het nieuwe model van Ribberink uitgevoerd moeten worden, kunnen de verschillende  $S_{\text{const}}$  berekend worden. Deze waarden van  $S_{\text{const}}$  worden vergeleken met de zandtransporten die in de nota van Van Rijn vermeld zijn en uit het onderzoek van de puntstort bij Wijk aan Zee volgen.

***Vergelijking tussen nota van Van Rijn en Ribberink raai 20:***

Het blijkt dat de minimum waarde voor  $S_{\text{const}}$  vrijwel gelijk is ( $5$  en  $7 \text{ m}^3/\text{m/j}$ ), maar dat de bovengrens die uit de nota van Van Rijn volgt een stuk hoger ligt ( $25$  ten opzicht van  $15 \text{ m}^3/\text{m/j}$  van Ribberink). Dit kan veroorzaakt worden doordat Ribberink alleen het bodemtransport in beschouwing neemt, terwijl de resultaten die in de nota van Van Rijn zijn opgenomen zowel uit bodem- als suspensief transport bestaan.

***Vergelijking tussen puntstort ter hoogte van Wijk aan Zee en Ribberink raai 4:***

De  $S_{\text{const}}$  die bij Wijk aan Zee berekend is ( $8,4 \text{ m}^3/\text{m/j}$ ), is lager dan ondergrens van de resultaten die in raai 4 zijn berekend met het nieuwe model van Ribberink ( $11$  en  $12 \text{ m}^3/\text{m/j}$ ). Deze ondergrenzen gelden voor een waterdiepte van  $17,8$  m. De bovengrenzen die met het nieuwe model van Ribberink zijn berekend liggen een stuk hoger dan de  $S_{\text{const}}$  die bij Wijk aan Zee is bepaald. Deze verschillen zijn waarschijnlijk gedeeltelijk het gevolg van de toegepaste methode waarop de zandtransporten bij Wijk aan Zee zijn bepaald.

## 5.7 Conclusies.

- De zandtransporten vinden plaats onder de invloed van zowel golven (orbitaalbeweging) als getijstrooming. Uit de berekeningen die met het nieuwe model van Ribberink zijn gemaakt, blijkt dat de orbitaalbeweging een belangrijke factor is. Zonder de orbitaalbewegingen reduceren de zandtransporten met een factor 6 (volgens de berekeningen met het model van Ribberink).
- De zandtransporten die bepaald zijn uit de lodingen zijn niet de totale zandtransporten, maar geven alleen het vormverloop van het zandtransport over de doorsnede. Uit de lodingen wordt alleen het verschil in zandtransport tussen de voeten van de zanddam en de top van de zanddam gebruikt ( $S_{dam}$ ). Deze  $S_{dam}$  varieert tussen de 16 en 25  $m^3/m/j$  (inclusief poriën) en tussen de 8,4 en de 15  $m^3/m/j$  (exclusief poriën).
- Er is geen duidelijk verband tussen de grootte van  $S_{dam}$ , de waterdiepte en de hoogte van de zanddam te constateren. Waarschijnlijk is de bepaling van de S-curve te grof in verhouding tot de grootte van de werkelijke verschillen die in de zandtransporten op verschillende diepten optreden. Voor de bepaalde zandtransporten ( $S_{dam}$ ) uit de lodingen moet rekening gehouden worden met een minimale nauwkeurigheid van 5  $m^3/m/j$ .
- Uit de lodingen wordt een structurele erosie geconstateerd in tegenstelling tot de resultaten die uit de berekeningen volgen die gemaakt zijn met het nieuwe model van Ribberink.
- De invloed van de hellingen op de zandtransporten komt niet duidelijk uit de bepaling van de S-curve naar voren.
- Voor de berekening van de zandtransporten die met het nieuwe model van Ribberink zijn uitgevoerd, is een andere bodemruwheidshoogte gebruikt dan die door Ribberink wordt aanbevolen. Het blijkt dat een bodemruwheidshoogte rond de 0,005 m het beste voldoet. De  $k_s$  die het beste voldoet, is bepaald door  $S_{dam}$ , die uit de lodingen zijn bepaald, te vergelijken met de  $S_{dam}$  die uit de berekeningen volgde (=  $S_{damrib}$ ).
- De bodemruwheidshoogte en de wegingsfactor  $\alpha$  hebben beide grote invloed op de grootte van  $S_{tot}$ .
- De berekende onverstoorde zandtransporten ( $S_{const}$ ) met een waarde van  $k_s=0,005$  m met het nieuwe model van Ribberink variëren voor raai 20 tussen de 7 en 15  $m^3/m/j$ . Deze waarden komen redelijk tot goed overeen met zandtransporten die uit in de nota van Van Rijn genoemd zijn (5 tot 25  $m^3/m/j$ ).

- De berekende onverstoorte zandtransporten voor raai 4 met het nieuwe model van Ribberink zijn groter dan het onverstoorte zandtransport bij de puntstort ter hoogte van Wijk aan Zee. De  $S_{\text{dam}}$  die uit het nieuwe model van Ribberink volgt, is bij benadering gelijk aan de bepaalde waarde in het stortgebied van de puntstort ter hoogte van Wijk aan Zee.

## HOOFDSTUK 6 Conclusies en Aanbevelingen.

### 6.1 Inleiding.

In dit afsluitende hoofdstuk zullen de hoofdconclusies met betrekking tot de doelstellingen van dit onderzoek worden gepresenteerd (paragraaf 6.1). In paragraaf 6.2 zullen nog enkele aanbevelingen worden gedaan met betrekking tot vervolgonderzoeken van een aantal aspecten.

### 6.1 Conclusies.

#### *Stabiliteit:*

- Het ondiepe gedeelte van de zanddam (raai 4 tot en met raai 19) blijkt niet stabiel te zijn. Naast een duidelijke afname van de hoogte in deze raaien, vinden er ook aanzienlijke horizontale verplaatsingen plaats. Wanneer een onderwater zanddam wordt gebruikt voor de aanleg of het vergroten van een slibberging of voor andere zachte constructies op waterdiepten die variëren tussen de 15 m en de 19 m, moet rekening gehouden worden met maximale verplaatsingen van 150 m in 12,5 jaar (12 m/j).
- De zanddam is vanaf een waterdiepte van 19 m stabiel te noemen. De zanddam verplaatst vanaf deze raaien niet meer. De hoogte van de zanddam neemt wel af in de tijd, variërend tussen de 0,1 dm en de 9 dm in 4 jaar tijd.

#### *Zandgolven:*

Vooraf van raai 19 (MV -19 m) vertoont het gedrag van de zanddam grote overeenkomsten met het fenomeen zandgolven:

- Vanaf een diepte van 18 m komen op de zanddam megaribbels voor, die een hoogte hebben tussen de 2 en 5 dm en een lengte van ongeveer 10 m;
- De zanddam ondervindt vanaf een diepte van 19 m vrijwel geen verplaatsing;
- De top van de zanddam neemt in een enkel lodingsinterval toe;
- De zanddam neemt een duidelijk asymmetrische vorm aan.

#### *Kustuitbreiding:*

Met betrekking tot zandige constructies, zoals kustuitbreidingen kan ervan uitgegaan worden dat hellingen loodrecht op de overheersende getijstroomrichting een steilheid aannemen van ongeveer 1:150 op een diepte van ongeveer 24 m.

***Slibvang en -geleider:***

Uit het bodemonderzoek en de side-scan sonar opname blijkt dat geen eenduidige conclusies kunnen worden getrokken met betrekking tot de functie van de zanddam als slibgeleider voor het slib dat afkomstig is van Loswal Noord. Wel lijkt het door de kleine hoogte/breedte verhouding van de zanddam onwaarschijnlijk te zijn dat de zanddam goed als slibgeleider kan functioneren. Ter plaatse van de zanddam komen slibwolken voor.

***Zandtransporten:***

De zandtransporten ( $S_{dam}$ ) die uit de lodingen bepaald zijn variëren tussen de 8,4 en 15  $m^3/m/j$  en zijn gebruikt om de bodemruwheidshoogte te bepalen waarmee de zandtransportberekeningen met het nieuwe model van Ribberink worden uitgevoerd. Deze bodemruwheidshoogte (0,005 m) is groter dan de bodemruwheidshoogte die door Ribberink zelf wordt aanbevolen ( $3\theta D_{90}$  voor  $\theta > 1$  en  $3D_{90}$  voor  $\theta \leq 1$ ). Deze grotere bodemruwheidshoogte, die tijdens de zandtransportberekeningen is gebruikt, is gedeeltelijk een direct gevolg van het ontbreken van de ribbelfactor in het nieuwe zandtransportmodel van Ribberink. Deze ribbelfactor is nu impliciet verwerkt in de grotere bodemruwheidshoogte. De zandtransporten die met het nieuwe model van Ribberink zijn berekend, vertonen redelijk tot goede overeenkomsten met de zandtransporten die in de nota van Van Rijn zijn vermeld en met de zandtransporten uit het onderzoek bij de puntstort van Wijk aan Zee. De onverstoorde zandtransporten (zonder de invloed van de zanddam) liggen in de orde van grootte van 7 tot 26  $m^3/m/j$ . Deze zandtransporten zijn representatief voor de langstransporten die op een diepte van 15 tot 20 m voorkomen. Alle genoemde zandtransporten zijn de zandtransporten zonder poriën.

***Redeker en Kollen:***

Met betrekking tot de voorspellingen en berekeningen die door Redeker en Kollen zijn gedaan in vergelijking tot de resultaten die uit dit onderzoek naar het gedrag van de zanddam nabij Loswal Noord zijn gevolgd, kan het volgende geconcludeerd worden:

- Een aantal voorspellingen die zij gedaan hebben, vertonen overeenkomsten met de gevonden eigenschappen van het gedrag van de zanddam, zoals de asymmetrische vorm die de zanddam aanneemt en de grotere golfinvloed die de zanddam ondervindt in het ondiepere gedeelte met het gevolg dat er in het ondiepe gedeelte grotere verplaatsingen optreden.
- Er zijn ook een aantal voor dit onderzoek belangrijkere voorspellingen die niet goed overeenkomen met het geanalyseerde gedrag van de zanddam, zoals de grootte van de afname van de hoogte van de top van de zanddam, de grootte van de verplaatsing van de top van de zanddam, de verplaatsingsrichting van de zanddam en de grootte van de verplaatsingen van de damvoeten.

**Verplaatsingen van de puntstort ter hoogte van Wijk aan Zee in vergelijking met de verplaatsingen van de zanddam:**

Wat betreft vergelijking tussen de verplaatsingen van de zanddam en de puntstort ter hoogte van Wijk aan Zee kan geconcludeerd worden dat de verplaatsingen van de puntstort groter zijn dan die van de zanddam. Dit kan te verklaren zijn door het verschil in de waterdiepte. De puntstort bevindt zich namelijk op iets ondieper water. De verplaatsingsrichting van de puntstort komt overeen met die van de zanddam.

## **6.2 Aanbevelingen.**

- Met behulp van de side-scan sonar zijn er mogelijkheden om slibwolken en -dekens te detecteren en deze vervolgens te volgen. Hiermee kan dan vastgesteld worden of de zanddam als slibgeleider fungeert. Ook kan het volgen van slibwolken en -dekens van belang zijn voor andere onderzoeken. Het verdient de aanbeveling om deze opname-technieken in de toekomst meer toe te passen.
- Om met zekerheid de evenwichtshellingen van de zanddam te kunnen vaststellen, verdient het de aanbeveling om de lodingopnames van de zanddam in het jaarlijkse lodingsprogramma te houden, zodat dit onderzoek voortgezet kan worden over een aantal jaren. Ook kan dan duidelijker worden of de zanddam inderdaad gedeeltelijk in evenwicht is.
- De hoogteveranderingen zijn tot nu toe onvoorspelbaar gebleken. De megaribbels hebben hier waarschijnlijk invloed op, maar waarschijnlijk hebben de stromingen die rond de zanddam optreden ook grote invloed op deze hoogteveranderingen. Om dit te na te gaan, is een 3-dimensionale stromingsberekening over de zanddam gewenst. Gedacht kan worden om het lodingsgebied van de zanddam uit het bestaande model Triwaq te lichten, zodat een fijnere bodemtopografie kan worden ingevoerd. De randvoorwaarden voor dit nieuwe model kunnen uit het model Triwaq worden gehaald. De resultaten van de reststroomberekeningen die uit dit nieuwe model volgen, kunnen ook ter vergelijking dienen wat betreft de resulterende richting van het (uit lodingen bepaalde) zandtransport.
- Zoals al bekend was, zijn er significante diepteverschillen tussen de methoden van opname van de lodingen. Hierover waren geen gegevens en literatuur beschikbaar. Het is daarom aan te raden de verschillen die ontstaan in de geregistreerde diepten tussen het multi- en single-beam systeem verder te onderzoeken en deze verschillen te kwantificeren. Vooral wanneer met "historische" gegevens wordt gewerkt, is het van belang dat de verschillen tussen de twee systemen bekend zijn.



- Uit de berekeningen die met het nieuwe model van Ribberink zijn uitgevoerd, is gebleken dat de bodemruwheidshoogte grote invloed heeft op de grootte van de zandtransporten. Mede gezien het feit dat door verschillende morfologen, verschillende  $k_s$ -waarden worden aanbevolen, is het van belang dat er nader onderzoek naar deze grootte wordt verricht.
- In het nieuwe model van Ribberink wordt geen rekening gehouden met de richting van de golven ten opzichte van de getijstroomrichting. Toch is het niet uitgesloten dat de golfrichting de grootte van de zandtransporten kan beïnvloeden. Tijdens dit onderzoek is gebleken dat het aanpassen van één of meerdere parameters significante verschillen kan opleveren. Aangezien het niet duidelijk is hoe en of de diverse parameters aangepast moeten worden, verdient dit aspect nog nader onderzoek.
- Er zijn momenteel heel wat zandtransportformules en -modellen beschikbaar. Deze modellen zijn meestal afgeregeld op modelproeven in het laboratorium. De zandtransportformules en -modellen zijn vrijwel niet aan praktijkproeven getoetst. Dit is echter wel noodzakelijk, omdat de resultaten van de modellen op praktijkproeven nog niet betrouwbaar genoeg zijn. Het is dus van belang dat in de toekomst meer praktijkproeven worden opgezet om de zandtransportmodellen en -formules op af te regelen.

## LIJST MET SYMBOLEN

C	Chézy-coëfficiënt	[L <sup>1/2</sup> /T]
D <sub>50</sub>	gemiddelde korreldiameter	[L]
D <sub>90</sub>	90% van de korrels is kleiner dan deze D <sub>90</sub>	[L]
D*	dimensieloze korrelgrootte	[-]
f <sub>c</sub>	wrijvingsfactor voor stroming	[-]
f <sub>cw</sub>	wrijvingscoëfficiënt voor een combinatie van golven en stroming	[-]
f <sub>w</sub>	wrijvingsfactor voor golven	[-]
g	valversnelling	[L/T <sup>2</sup> ]
h	waterdiepte ten opzichte van MV	[L]
h <sub>n</sub>	waterdiepte op 2200 m uit de 0-lijn	[L]
h <sub>p</sub>	waterdiepte in een punt waar het zandtransport berekend wordt	[L]
H <sub>m01</sub>	geschatte significante golfhoogte uit het energie-dichtheidsspectrum	[L]
H <sub>sig</sub>	geschatte significante golfhoogte uit het energie-dichtheidsspectrum	[L]
k <sub>s</sub>	bodemruwheidshoogte	[L]
m	empirische coëfficiënt	[-]
n	empirische exponent	[-]
q <sub>b</sub> (t)	bodemtransport per eenheid van tijd en breedte	[L <sup>2</sup> /T]
S	zandtransport bepaald uit lodingen	[L <sup>3</sup> /L/T]
S <sub>const</sub>	onverstoorde zandtransport	[L <sup>3</sup> /L/T]
S <sub>dam</sub>	zandtransport ter plaatse van de top van de zanddam (exclusief S <sub>const</sub> ) bepaald uit de lodingen	[L <sup>3</sup> /L/T]
S <sub>damrib</sub>	zandtransport ter plaatse van de top van de zanddam (exclusief S <sub>const</sub> ) berekend met het nieuwe model van Ribberink	[L <sup>3</sup> /L/T]
S <sub>tot</sub>	totale zandtransport	[L <sup>3</sup> /L/T]
T <sub>m01</sub>	geschatte gemiddelde golfperiode uit het energie-dichtheidsspectrum	[T]
u <sub>b</sub> (t)	horizontale tijdsafhankelijke snelheid bij de bodem voor een combinatie van golven en stroming	[L/T]
⟨u <sub>b</sub> ⟩	gemiddelde getijstroomsnelheid over 20 minuten	[L/T]
û <sub>b</sub>	amplitude van de orbitaalbeweging	[L/T]
u <sub>krit</sub>	kritische snelheid orbitaalbeweging	[L/T]
v*	wrijvings snelheid	[L/T]
v <sub>doodtij</sub>	maximale getijstroomsnelheid gedurende doodtij	[L/T]
v* <sub>krit</sub>	kritische schuifspanningssnelheid	[L/T]
v <sub>krit</sub>	kritische snelheid	[L/T]

$v_{\max}$	maximale getijstroomsnelheid gedurende een getijcyclus	[L/T]
$v_n$	gemiddelde snelheid op 2200 m uit de 0-lijn	[L/T]
$v_p$	gemiddelde snelheid in punt waar het zandtransport berekend wordt	[L/T]
$v_{\text{spring}}$	maximale getijstroomsnelheid gedurende springtij	[L/T]
$v(z)$	snelheid op hoogte $z$ boven de bodem	[L/T]
$z_0$	nulpuntsniveau van de snelheid	[L]
$\alpha$	wegingsfactor die gebruikt wordt om de bodemschuifspanning te berekenen	[-]
$\Delta$	relatieve dichtheid	[-]
$\theta(t)$	Shields parameter gebaseerd op de wrijving	[-]
$\theta_c$	kritische Shields parameter	[-]
$\kappa$	von Karman coëfficiënt	[-]
$\nu$	kinematische viscositeit van water	[L <sup>2</sup> /T]
$\rho$	dichtheid van (zee)water	[M/L <sup>3</sup> ]
$\rho_s$	dichtheid van zand	[M/L <sup>3</sup> ]
$\tau_{\text{krit}}$	kritische schuifspanning	[M/LT <sup>2</sup> ]
$\tau_b(t)$	tijdsafhankelijke bodemschuifspanning	[M/LT <sup>2</sup> ]
$\phi_b(t)$	tijdsafhankelijke dimensieloze transportverhoudingsparameter	[-]

## LITERATUURLIJST

- Bijker, E.W., 1967.  
Some considerations about Scales for Coastal Models with Movable Bed.  
Delft Hydraulics, publikatie no. 50.
- Borst, J.C., 1987.  
Verkennde beschrijving van het stroomklimaat in het kustvak Delfland.  
RWS Dienst Getijdewateren, rapport GWAO-87.477.
- Bossinade, J en M. Bubbert, 1983.  
Bodemstroomatlas Loswal Noord en omgeving.  
RWS, notitie WWKZ-83.5227
- Hemelrijk, J., F.J.A. Overweel en C.J. Warmer, 1978.  
Aanzanding of ontgroning in de westelijke waddenzee.  
Mathematisch Centrum, rapport SD 112/78.
- Heuvel, Tj. van, 1988.  
Verspreiding van baggerspecie tijdens en na het storten vanuit een baggerschip.  
RWS Dienst Getijdewateren, nota GWAO 88.034.
- Koelewijn, H. en J.S. Ribberink, 1994.  
Sediment transport under sheetflow conditions.  
Delft Hydraulics (WL), TUD en NCK.
- Kok, J.M. de, 1992.  
Three dimensional finite difference model for computation of near - and far - field transport of suspended matter near a river mouth.  
Continental Shelf Research, Vol. 12, nr. 5/6, pag. 625-642
- Kok, J.M. de, R.M. Salden en I.D.M. Rozendaal, 1995.  
Drie-dimensionale modellering van het transport van zwevend stof in de Nederlandse kustwateren.  
RIKZ, rapport RIKZ-95.019
- Kollen, J., 1984.  
Bijlage bij brief DNZ 1923.  
RWS Directie Noordzee.

Komar, P.D. en M.C. Miller, 1974.

Sediment threshold under oscillatory waves.

Coastal Engineering, Vol. II, hoofdstuk 44, pag. 756-775.

Redeker, F.R. en J. Kollen, 1983.

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

RWS Directie Noordzee, rapport NZ-N-83.05

Rijn, L.C. van, 1984.

Sediment Transport: Part I: Bed Load Transport, Part II: Suspended Transport, Part III: Bed Forms and Alluvial Roughness.

Journal of Hydraulic Engineering, Volume 110, no. 10, 11, 12.

Rijn, L.C. van, 1993.

Principles of sediment transport in rivers, estuaries and coastal seas.

Aqua publications.

Rijn, L.C. van, 1995.

Dynamics of central Dutch closed system.

Delft Hydraulics, nota H 2129.

RIKZ, verschillende auteurs, 1995.

Loswal Noord veraf of verdiept.

RWS en RIKZ (brochure).

Roskam, A.P., 1985.

Golfklimaat Lichteiland Goeree.

RWS Dienst Getijdewateren, notitie WWKZ-85G.251.

Roskam, A.P., 1988.

Golfklimaten voor de Nederlandse kust.

RWS Dienst Getijdewateren, nota GWAO-88.046.

Roskam, A.P., nog niet gepubliceerd.

Golfklimaten voor de Nederlandse kust.

RIKZ.

RWS, 1995.

Getijtafels voor Nederland.

RIKZ, Afdeling Informatiesystemen

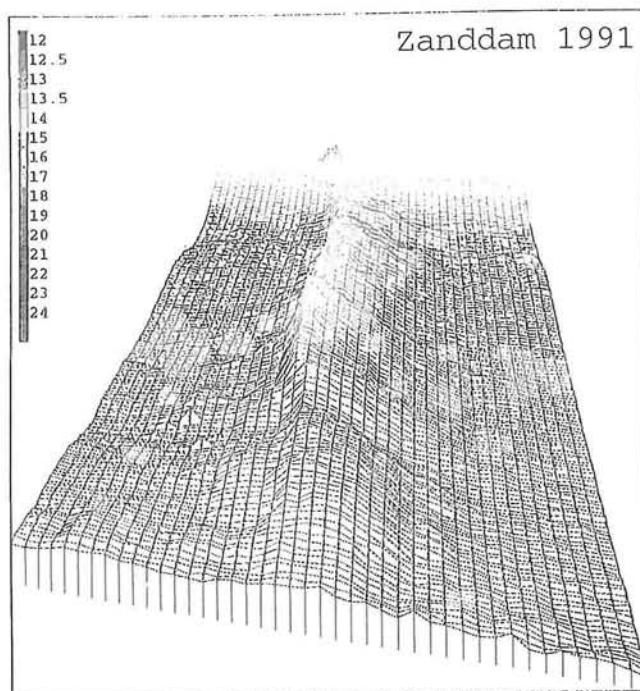
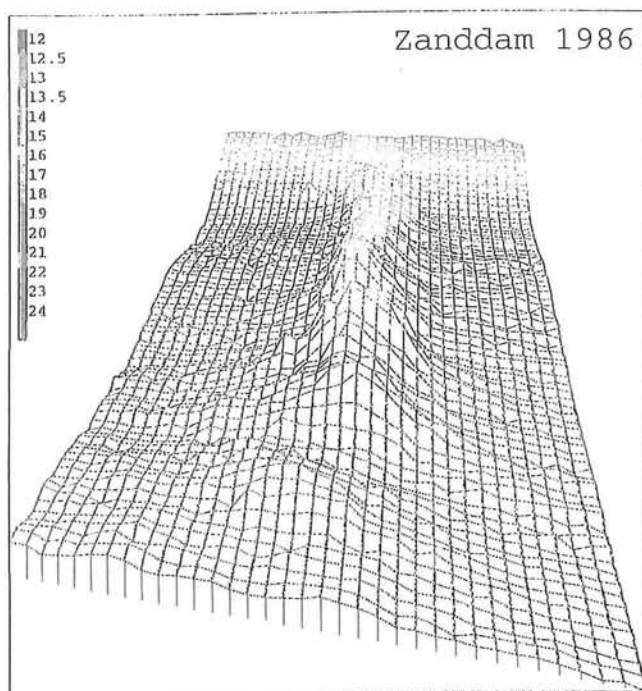
- RWS Directie's Benedenrivieren en Noordzee, 1985.  
Sleepzuigresultaten 1981 t/m 1984.
- RWS, 1986.  
Resultaten Baggerwerk Cosmos 1981 t/m 1985.
- Salden, R.M. en J.M de Kok, 1994.  
Afrekening van het 3D-kuststrook-model ten behoeve van slibtransport. RIKZ, RIKZ, werkrapport OS-94.105x.
- Spanhoff, R. en F. Hallie, 1990.  
Invloed van een zanddam bij Loswal Noord op het slibtransport.  
RWS Dienst Getijdewateren, notitie GWWS-90.082.
- Soulsby, R. en R. Bettess, 1990.  
Sand Transport in Rivers, Estuaries and the Sea.  
Hydraulics Research Ltd, Wallingford.
- Tobias, F.C., 1989.  
Morphology of sandwaves in relation to current, sediment, and wave data along the Eurogeul, North Sea.  
Rijksuniversiteit Utrecht, rapport GEOPRO 1989.01.
- Verhagen, W. en J. Wiersma, 1992.  
Zandstort voor de kust van Wijk aan Zee.  
RWS Directie Noordzee, rapport NZ-N-92.02.
- Verlaan, P.A.J. en R. Spanhoff, 1993.  
Slibconcentraties en stroomsnelheden gemeten bij de bodem in de omgeving van Loswal Noord.  
RWS Dienst Getijdewateren en OCN.
- Zonneveld, P.C., 1994.  
Vergelijkend onderzoek korrelgrootte bepaling (zeef/Malvern).  
RGD, rapport OP 6500.
- Zonneveld, P.C., 1995.  
Geologisch onderzoek Loswal-Noord (blok Q16) onderwaterdam.  
RGD, rapport OP 6559.

## BIJLAGEN

Bijlage A 3-D presentatie.

In deze bijlage wordt een serie van opeenvolgende 3-D plaatjes getoond. Voor de afbeeldingen worden de lodingsjaren 1982, 1983, 1985, 1986, 1991 en 1995 gebruikt. In de eerste serie wordt de noordzijde van de zanddam getoond. In de tweede serie wordt een weergave gegeven van de zuidzijde van de zanddam. Bij de eerste serie is de versteiling van de helling aan de noordzijde duidelijk te zien, evenals de gedeelten waar is bijgestort in de periode 1982 tot en met 1986. In de tweede serie is de afname van de steilheid van de helling ook goed waar te nemen, evenals de bijstortingen die in de periode 1982 tot en met 1986 zijn uitgevoerd.

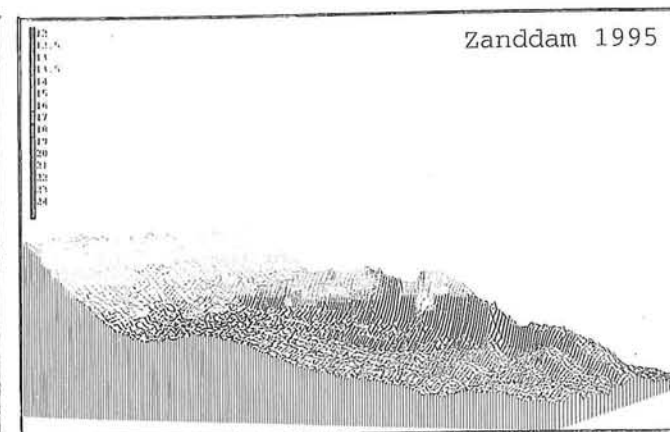
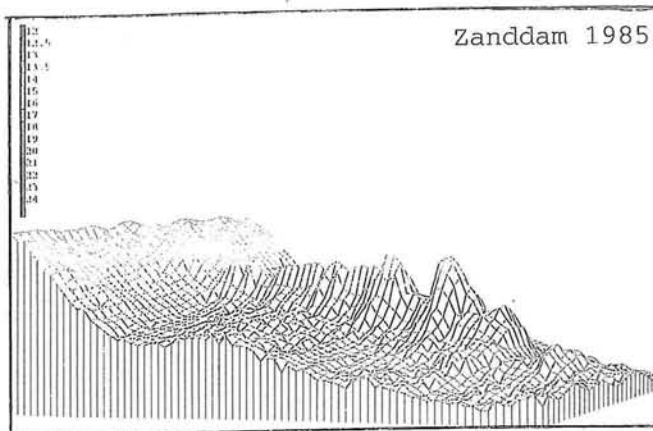
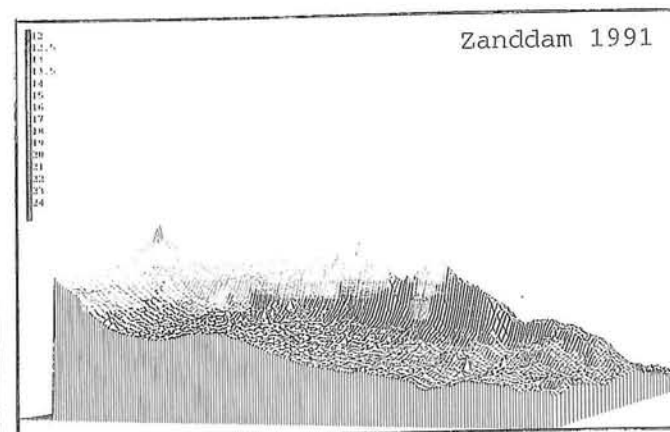
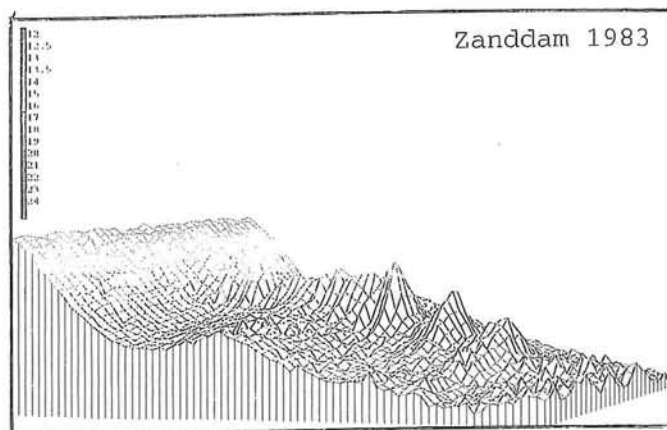
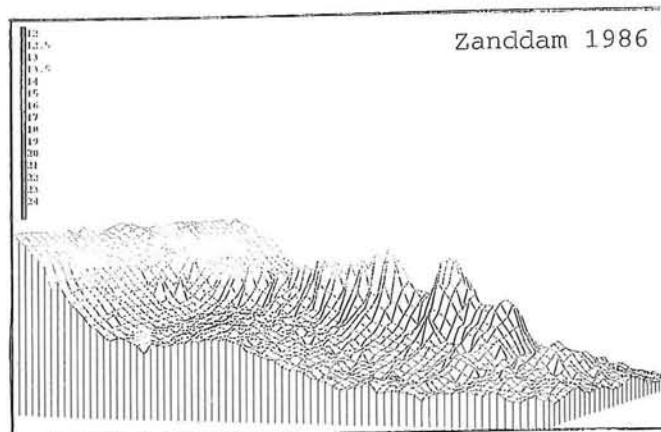
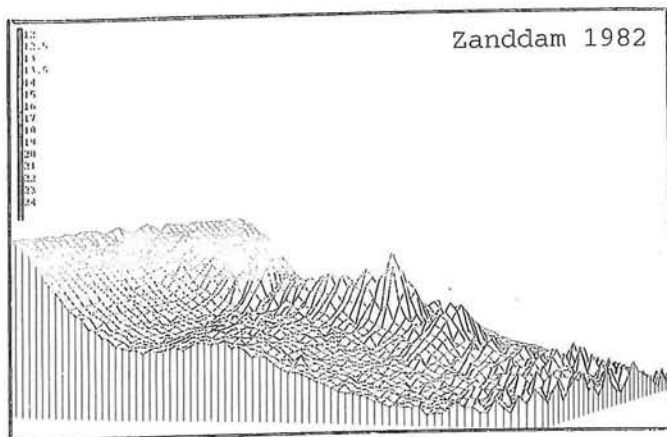
Eerst zullen de 3D-afbeeldingen van de jaren 1986 en 1991 worden weergegeven. Deze twee afbeeldingen zijn vanuit dezelfde plaats genomen als de twee afbeeldingen die in hoofdstuk 2 zijn gegeven (figuren 2.4 a en b).





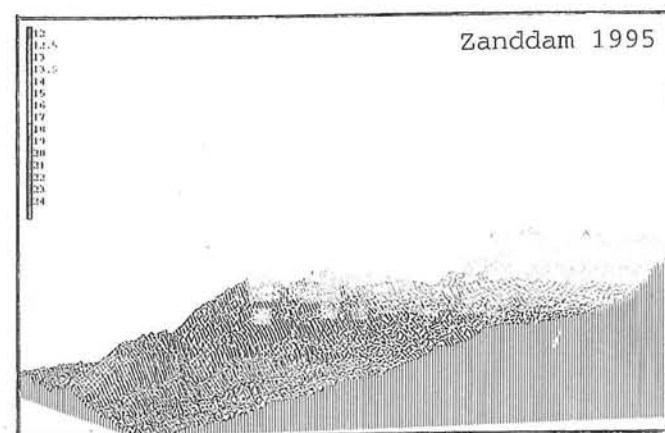
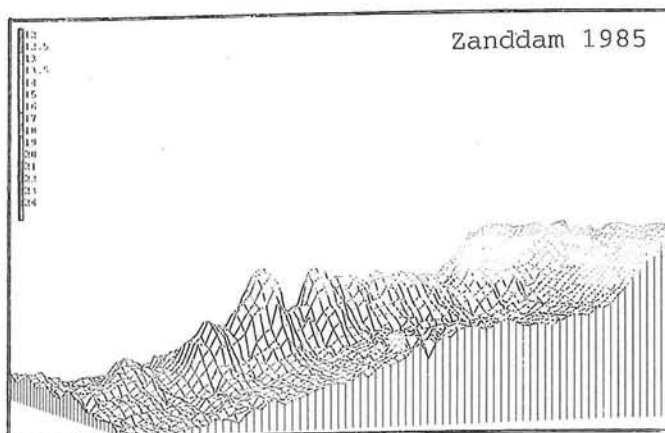
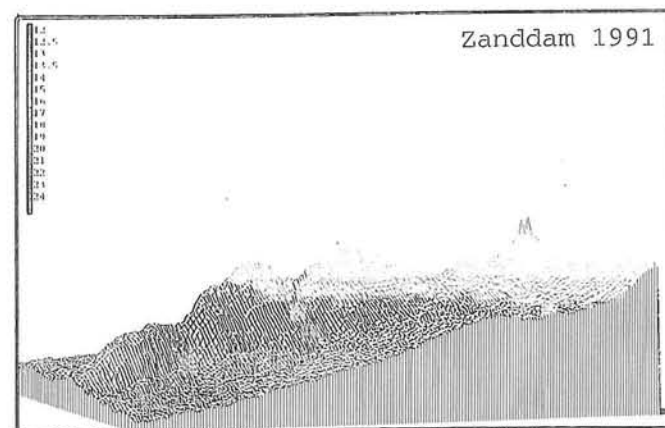
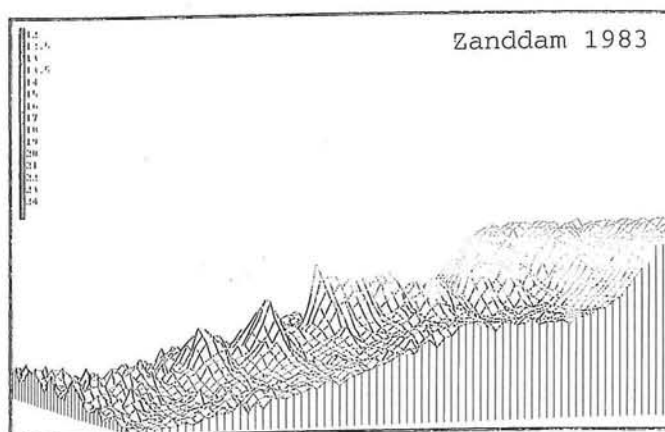
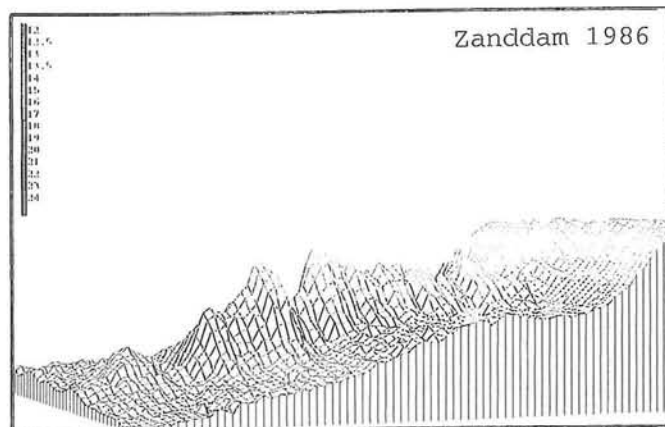
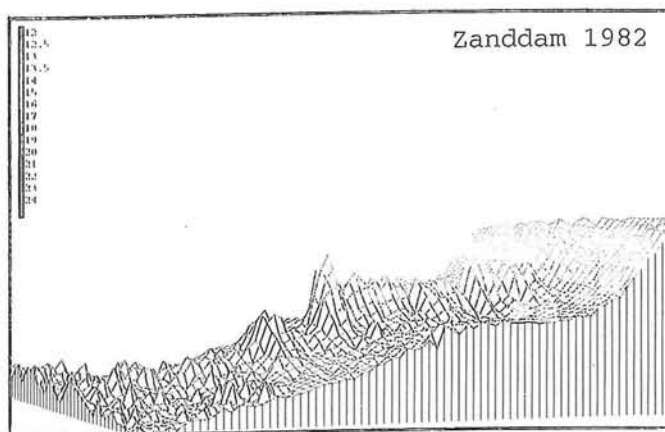
Vervolg bijlage A

Serie 1: Noordzijde van de zanddam.



Vervolg bijlage A

Serie 2: Zuidzijde van de zanddam.



## Bijlage B1 Herhaalbaarheid van de lodingen.

Voor de bepaling van de herhaalbaarheid wordt gebruik gemaakt van het rapport "Aanzanding en ontgroning in de westelijke waddenzee" geschreven door Hemelrijk et al. [1978] en van gegevens welke uit de jarenlange ervaring van de praktijk volgen.

### 1) Stochastische fout.

De stochastische fout tussen 2 lodingen wordt bepaald door drie factoren:

- Puntmeetfout ( $= 4 * 2 * (1/\text{aantal meetpunten})$ ),
- Vaarteffect ( $= 2 * 0,5/(\text{aantal gevaren raaien})$ ),
- Schipeffect.

Omdat alle multi-beam lodingen met hetzelfde schip zijn opgenomen, kan het schipeffect buiten beschouwing gelaten worden. Van de single-beam lodingen is dit niet precies bekend, maar aangenomen wordt dat deze lodingen ook met hetzelfde schip zijn opgenomen.

#### Single-beam:

$$\text{Puntmeetfout: } \sigma_{\text{punts}}^2 = 4 * 2 * (1/8000) = 0,0010 \text{ dm}^2 \quad \Rightarrow \sigma_{\text{punts}} = 0,032 \text{ dm}$$

$$\text{Vaarteffect: } \sigma_{\text{vaarts}}^2 = 2 * 0,5/77 = 0,01299 \text{ dm}^2 \quad \Rightarrow \sigma_{\text{vaarts}} = 0,114 \text{ dm}$$

Dit leidt tot  $\sigma_{\text{stochs}} = \sigma_{\text{punts}} + \sigma_{\text{vaarts}} = 0,146 \text{ dm}$ .

De bijdrage aan de betrouwbaarheidsband is  $\pm 3 * \sigma_{\text{stochs}} \approx \pm 0,44 \text{ dm}$

#### Multi-beam:

$$\text{Puntmeetfout: } \sigma_{\text{puntm}}^2 = 4 * 2 * (1/13200) = 0,0006 \text{ dm}^2 \quad \Rightarrow \sigma_{\text{puntm}} = 0,025 \text{ dm}$$

$$\text{Vaarteffect: } \sigma_{\text{vaartm}}^2 = 2 * 0,5/(150) = 0,0067 \text{ dm}^2 \quad \Rightarrow \sigma_{\text{vaartm}} = 0,082 \text{ dm}$$

Dit leidt tot  $\sigma_{\text{stochm}} = \sigma_{\text{puntm}} + \sigma_{\text{vaartm}} = 0,107 \text{ dm}$ .

De bijdrage aan de betrouwbaarheidsband is  $\pm 3 * \sigma_{\text{stochm}} \approx \pm 0,32 \text{ dm}$

### 2) Systematische fout.

Onder de systematische fout worden de fouten verstaan welke tot gevolg hebben dat de gehele loding een aantal cm te droog of te nat is. Wanneer de systematische fouten erg groot zijn (bijvoorbeeld 3 dm of groter) kunnen ze door de verwerking van de meetdienst opgemerkt worden op het moment dat de verschilkaart gemaakt wordt met de vorige loding. Vaak wordt de oorzaak gevonden en kunnen er correcties toegepast worden. Wanneer deze systematische fouten echter klein zijn, worden ze niet ontdekt. Voor de systematische fout kan een range van + of - 1 dm worden aangehouden per lodingopname. Wanneer twee lodingen met elkaar vergeleken worden, wordt de systematische fout  $2 * 1/(\sqrt{2}) = 1,41 \text{ dm}$ . De bijdrage aan de betrouwbaarheidsband is:  $\sigma_{\text{sys}} = \pm 0,71 \text{ dm}$

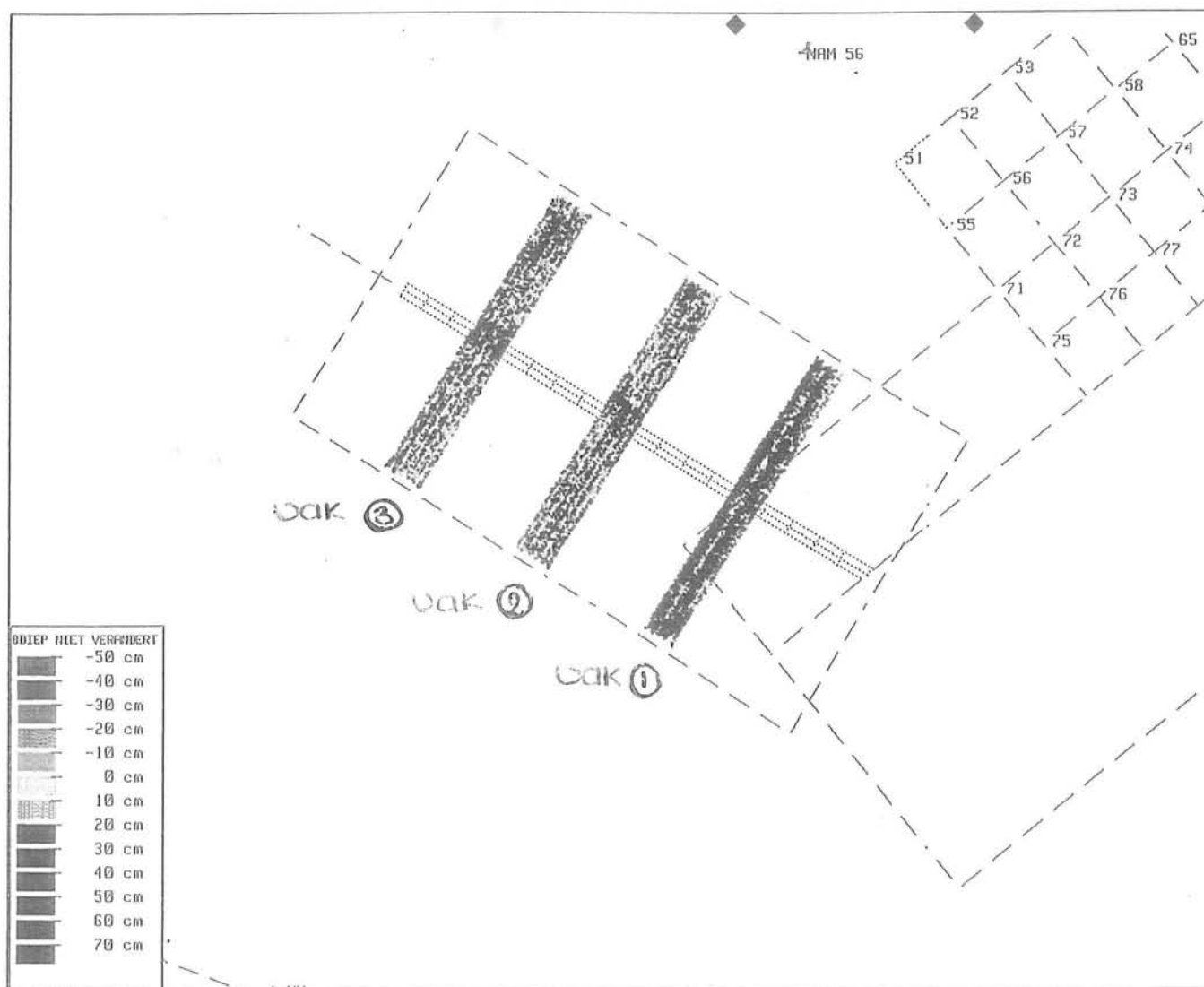
De betrouwbaarheidsband wordt:

$$\text{Single-beam } \Rightarrow \sigma_{\text{stochs}} + \sigma_{\text{sys}} = \pm 1,15 \text{ dm}$$

$$\text{Multi -beam } \Rightarrow \sigma_{\text{stochm}} + \sigma_{\text{sys}} = \pm 1,03 \text{ dm}$$

**Bijlage B2 Berekening van de ophoging van de single-beam lodingen.**

Op 11 en 12 september 1995 is een extra loding uitgevoerd in het lodingsgebied van de zanddam. Omdat de loding bedoeld was om een indicatie te geven over de verschillen in de single- en multibeam systemen, is besloten dat een opname die uit 17 raaien bestaat, voldoende is. De gegevens zijn verwerkt volgens de normale procedures. In figuur B1 is een kleurenverschilkaart gegeven van de single-beam loding met de multi-beam loding (met het programma SIB). Hierin zijn de blauwe gedeelten de gebieden waarin de raaien gevaren zijn. De verschillende kleuren geven de grootte van het verschil aan. Te zien is dat de verschillen in het ondiepere gedeelte (vak 1) iets groter zijn. De verschillen variëren over het algemeen tussen de 1 en 3 dm => multi-beam is 1 tot 3 dm droger.



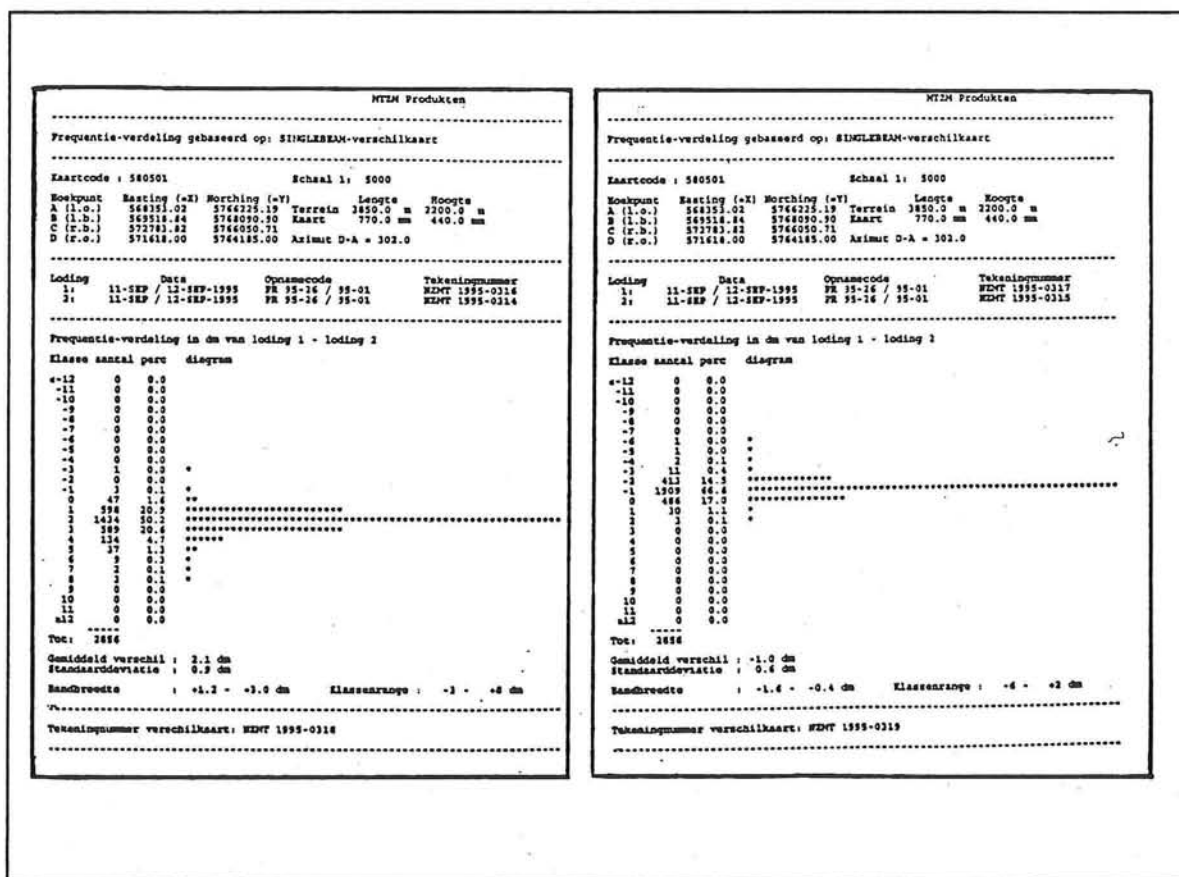
Figuur B1 Kleurenverschilkaart multi- en single-beam loding.

**Vervolg bijlage B2**

De lodingsgegevens zijn op drie verschillende manieren verwerkt:

- 1) Gemiddelde diepten per vakje van 12,5 x 50 m<sup>2</sup>.
- 2) Minimum diepten per vakje van 12,5 x 50 m<sup>2</sup>.
- 3) Minimum diepten per vakje van 25 x 25 m<sup>2</sup>.

Uit de eerste methode volgde dat de multi-beam lodingen met gemiddeld 1 dm opgehoogd moeten worden, terwijl uit de tweede methode een gemiddelde ophoging van 2 dm van de single-beam lodingen volgde. Uit de derde methode volgde ook een ophoging van 2 dm van de single-beam lodingen. De ophoging die volgens de tweede en derde methode moet worden uitgevoerd is logisch, omdat de multi-beam meerdere punten aanpeilt, waardoor de kans groter is dat hij een ondieper punt registreert dan de single-beam. Uit de eerste methode (de gemiddelde diepte) was de verwachting dat de twee systemen eenzelfde uitkomst zouden geven, dus een gemiddelde van 0. Het gaat buiten dit afstudeerwerk om daar nader op in te gaan. Voor dit onderzoek is de tweede en derde manier van verwerken van belang, omdat in die vorm de lodingsgegevens worden gebruikt voor het onderzoek. Resultaten methode 1 en 2:

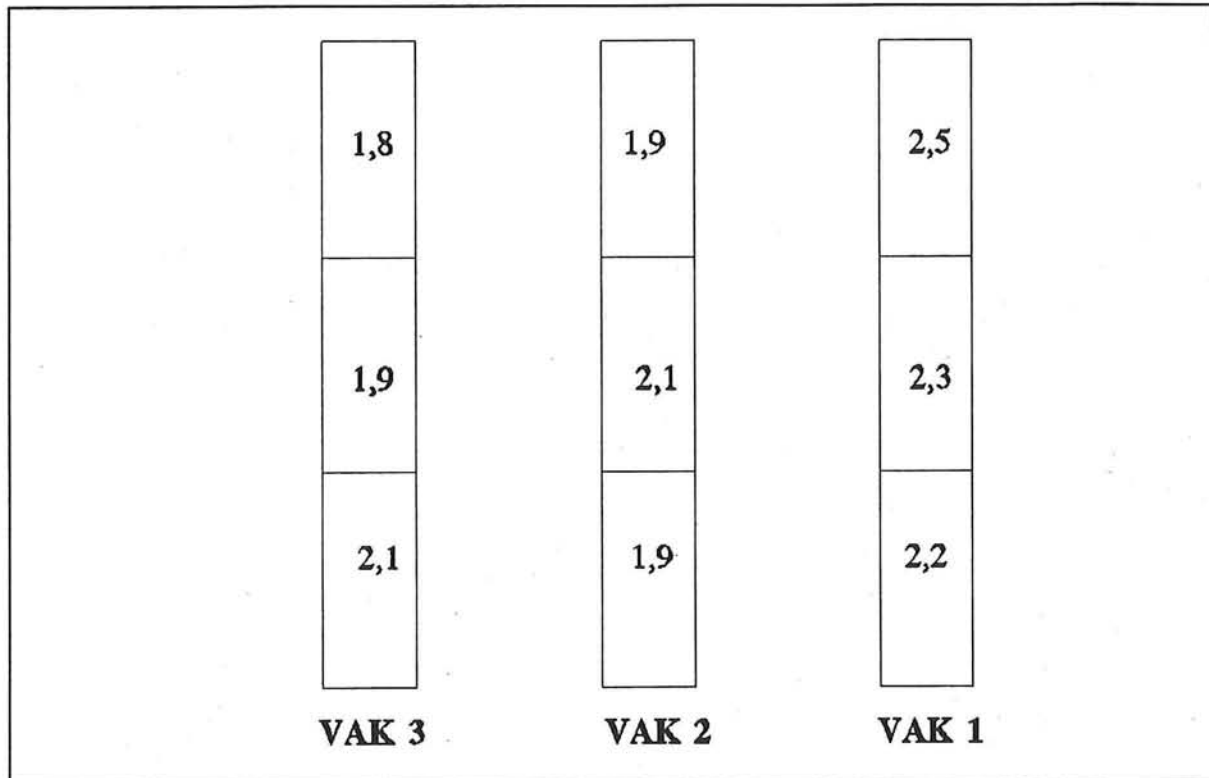


Frequentieverdeling: minimum diepte.

Frequentieverdeling: gemiddelde diepte.

## Vervolg bijlage B2

Resultaten methode 3:



De 3 vakken (ieder opgedeeld in 3 gebieden) met per gebied het gemiddelde dieptever-  
schil tussen de multi- en single-beam.

De resultaten die uit methode 3 zijn gevolgd, zijn als volgt tot stand gekomen:

De drie hoofdgebieden (vak 1, vak 2 en vak 3), waarin de raaien gevaren zijn (zie figuur B1), zijn ieder onderverdeeld in een gebied ten zuiden van de zanddam, ter plaatse van de zanddam en ten noorden van de zanddam. Per gebied is per vak van de 25 x 25 m<sup>2</sup> de minimumdiepte van zowel de geregistreerde diepten van de single-beam als de geregis-  
treerde diepten van de multi-beam bepaald. Van deze minimumdiepten per vak van 25 x 25 m<sup>2</sup> zijn de verschillen berekend. Vervolgens is een histogram samengesteld waarin per interval van één dm het aantal voorkomende verschillen van deze grootte is vermeld. Uit deze histogrammen komt naar voren dat de verschillen variëren tussen de 1 en 3 dm met een gemiddelde van rond de 2 dm.

**Vervolg bijlage B2**

Ter controle wordt het gemiddelde verschil ook per raai berekend, uitgaande van de minimum diepten die uit methode 2 zijn gevolgd, om na te gaan of er significante verschillen optreden tussen de gelode raaien. De raaien bevinden zich tenslotte op verschillende waterdiepten, wat tot gevolg kan hebben dat er verschillen optreden tussen het verschil single-multi-beam. In onderstaande tabel zijn deze gemiddelde verschillen per raai gegeven:

raainummer	gemiddelde verschil (dm)
9	1,88
9,5	2,12
10	3,08
10,5	2,31
11	3,18
19	2,20
19,5	1,89
20	1,91
20,5	1,93
21	1,96
21,5	1,98
29	1,83
29,5	2,04
30	2,09
30,5	2,02
31	2,14
31,5	1,94

Uit de tabel blijkt dat de raaien 10 en 11 duidelijk een afwijkend gemiddelde geven. De overige raaien geven gemiddelden die nabij de 2 dm liggen. Hieruit blijkt dat de diepte niet een zodanig grote invloed heeft, wat dit gebied betreft, dat de ophoging van de single-beam lading niet is toegestaan. Voor het vervolg van dit afstudeerwerk zullen de single-beam ladingen met 2 dm opgehoogd worden.

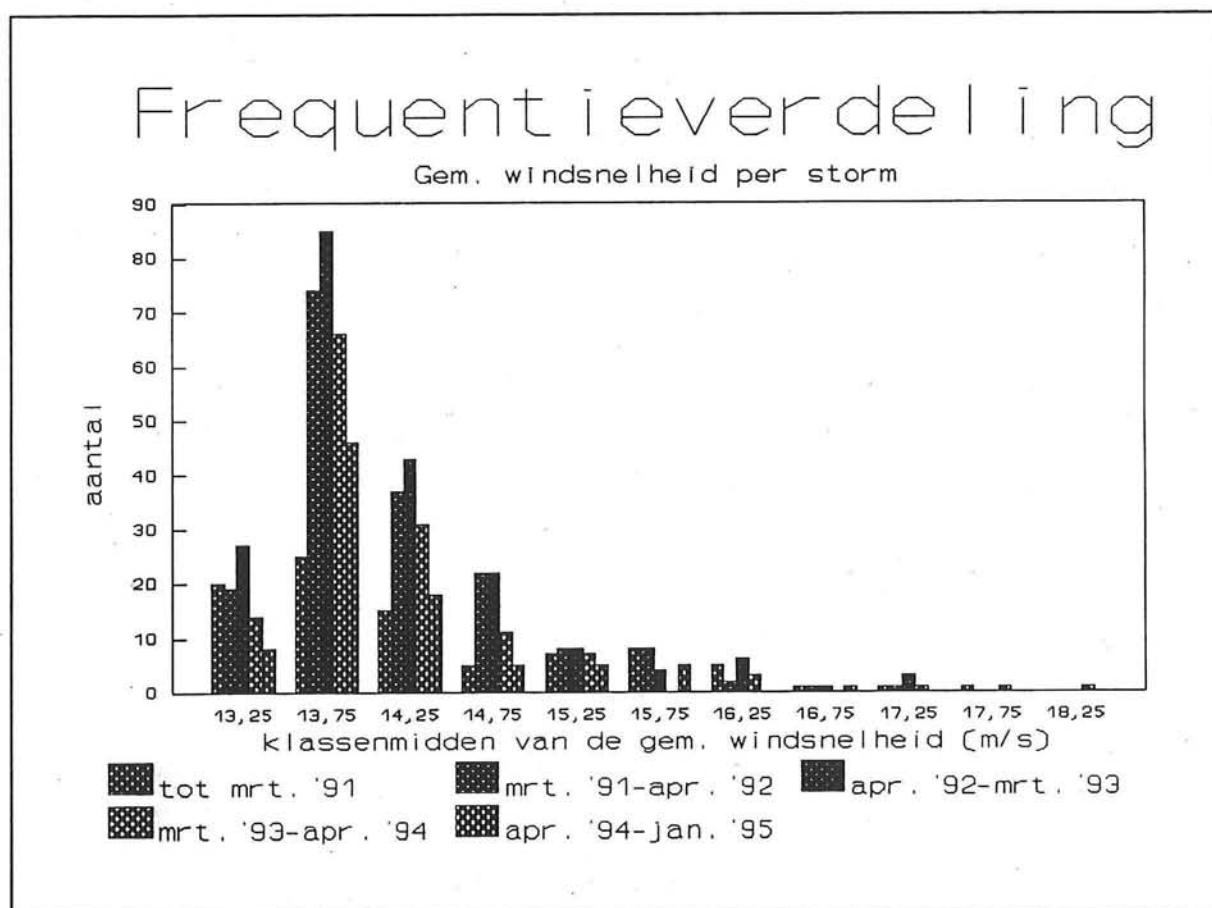
## Bijlage C1 Windgegevens.

In deze bijlage zijn de frequentietabellen opgenomen, die gegevens bevatten van windsnelheden die groter of gelijk zijn aan 13 m/s en minimaal een uur hebben aangehouden. Alleen de windgegevens vanaf 1990 zijn gebruikt, omdat tijdens de lodingsintervallen die na 1990 voorkomen geen bijstortingen meer verricht zijn. Tevens zijn de gegevens vanaf 1990 op floppy-disk beschikbaar, zodat met een Pascal-programma de benodigde gegevens makkelijk geselecteerd kunnen worden.

Tabel C1: Verdeling van de windsnelheden  $\geq 13$  m/s.

Tabel C2: Verdeling van de richting van de windsnelheden  $\geq 13$  m/s.

Tabel C3: Verdeling van de duur van de windsnelheden  $\geq 13$  m/s.

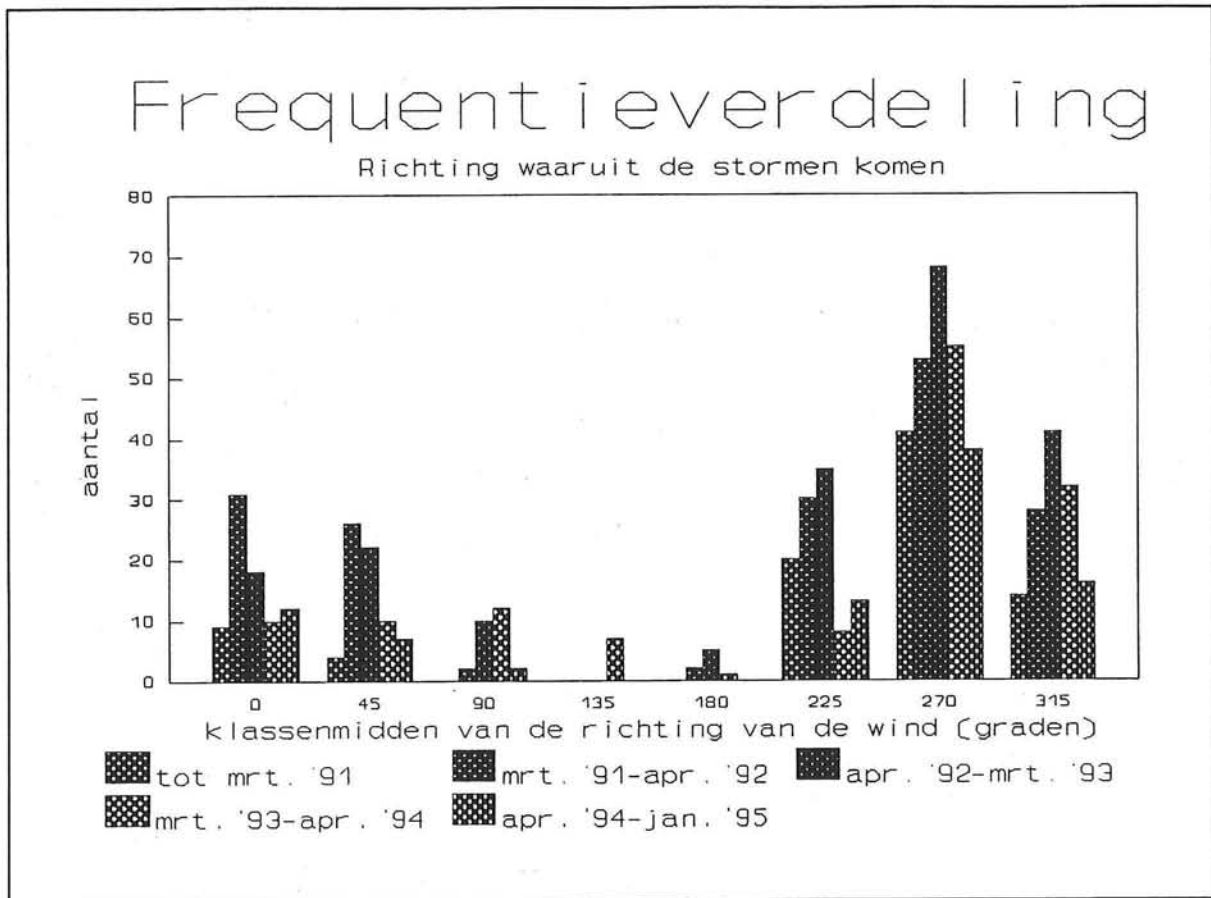


Frequentietabel C1

Uit deze frequentietabel van de verdeling van de windsnelheden volgt dat in het lodingsinterval 1992 tot en met 1993 duidelijk meer stormen zijn geweest. Het eerste en het laatste lodingsinterval zijn de perioden met de minste stormen. Voor het laatste lodingsinterval is dit te verklaren door de ontbrekende laatste vier maanden (januari tot en met april 1995; dit zijn tevens de maanden waarin het grootste gedeelte van de stormen voorkomen).



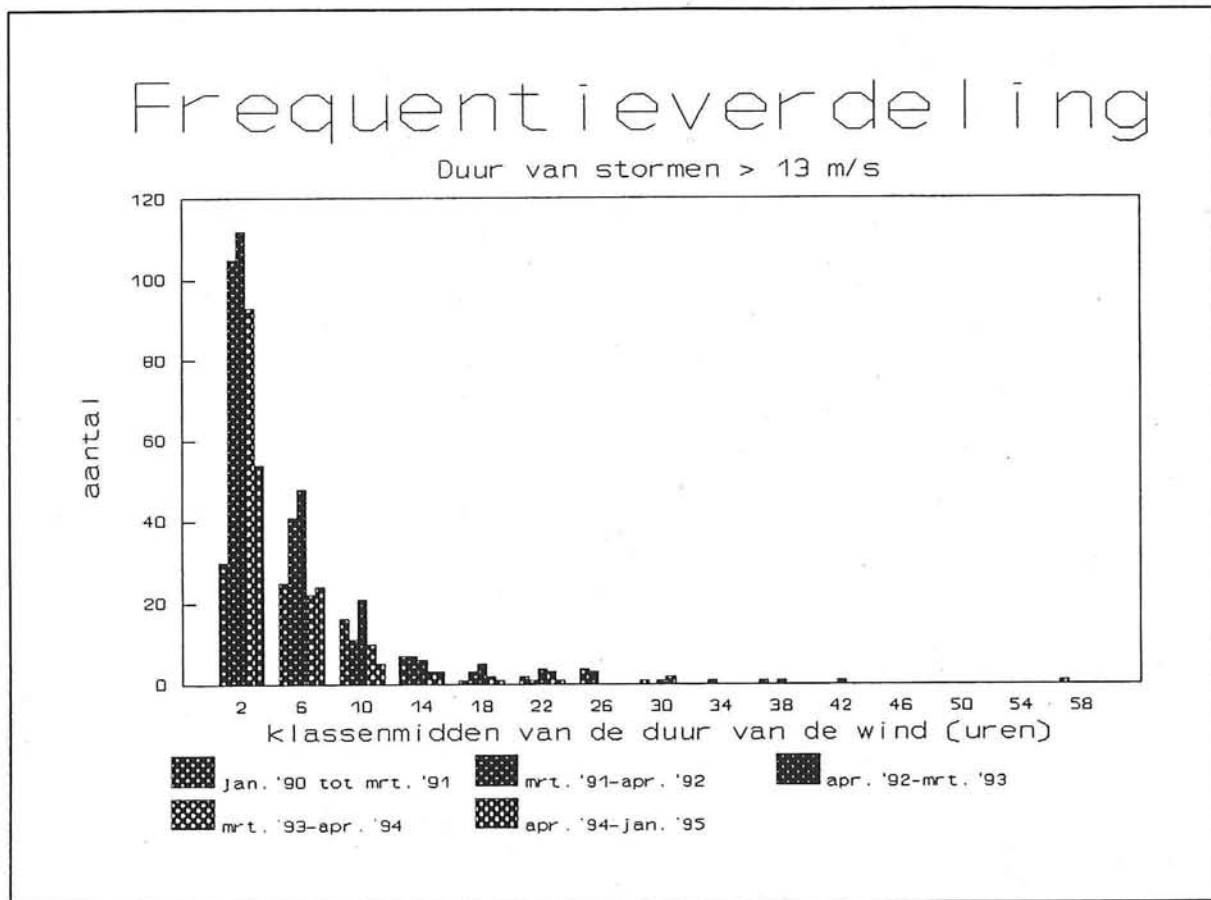
Vervolg bijlage C1



Frequentietabel C2

De overheersende windrichting van de stormen is 270° (west). De richtingen van de stormen variëren tussen de 225° en de 45° (zuidwest tot noordoost). Ten opzichte van de overige lodingsintervallen, is in de lodingsintervallen 1991 tot en met 1992 en 1992 tot en met 1993 het aantal stormen uit het noorden tot het noordoosten groter.

Vervolg bijlage C1



Frequentietabel C3

Bijlage C2 Golfgegevens Lichteiland Goeree.

HS	VINDRICHTING									
	225--255.	255--285.	285--315.	315--345.	345.-- 15.	15--225.	TOTAAL			
0- - 50-	285.0	192.0	149.0	115.0	237.0	2713.0	3691.0			
50- -100-	661.0	480.0	345.0	316.0	424.0	4189.0	6615.0			
100- -150-	707.0	438.0	354.0	296.0	288.0	2139.0	4312.0			
150- -200-	508.0	326.0	245.0	235.0	158.0	863.0	2325.0			
200- -250-	252.0	186.0	167.0	146.0	76.0	349.0	1174.0			
250- -300-	125.0	126.0	100.0	76.0	35.0	118.0	560.0			
300- -350-	30.0	83.0	62.0	43.0	16.0	38.0	272.0			
350- -400-	18.0	33.0	30.0	12.0	7.0	11.0	113.0			
400- -450-	6.0	22.0	12.0	7.0	1.0	1.0	53.0			
450- -500-	1.0	8.0	4.0	2.0	0	0	15.0			
500- -550-	0	2.0	0	0	0	0	2.0			
550- -600-	0	0	0	0	0	0	0			
600- -650-	0	0	0	0	0	0	0			
650- -700-	0	0	0	0	0	0	0			
TOTAAL	2683.0	1896.0	1468.0	1248.0	1240.0	*****	19156.0			
NSRFRP	155.5	187.6	186.2	176.3	145.9	114.3	144.0			
6BT	4.62	5.00	5.05	4.95	4.75					
TH1/3	5.55	6.08	6.22	6.12	5.80					
TH02	5.07	5.47	5.56	5.47	5.25					

AANTAL VAARNEPINGTONEN VAN L.E. GOEREE = 13892.  
 AANTAL VAARNEPINGTONEN BEREKEND UIT BG-2 = 3264.  
 AANTAL VAARNEPINGTONEN MET EEN DUMPY = 1300.

Periode:  
1978-1984

STATION : L.E. GOEREE 3-UURLIJSE REEKSEN 1-1-1979 T/M 31-12-1986

RELATIEVE VERDELING

ZONDER RICHTINGSONDSCHIEDING

NR0 IN KLASSEN VAN 50 CM (VERT.) EN TH01 IN KLASSEN VAN 2.8 SEC (HOR.)

	<1.0	1.0-2.8	2.8-5.0	5.0-7.8	7.8-9.0	>9.0	ALLE	YGM	CUM.
0 - 100	0.00	0.71	16.79	3.38	0.94	0.06	16.039	4.18	180.000
100 - 150	0.00	1.34	27.74	9.28	2.89	0.12	33.248	8.56	360.000
150 - 200	0.00	1.88	37.74	12.75	4.17	0.20	46.748	12.75	540.000
200 - 250	0.00	2.42	48.22	17.25	5.43	0.28	61.418	17.25	720.000
250 - 300	0.00	2.96	58.70	23.75	7.28	0.36	79.018	23.75	900.000
300 - 350	0.00	3.50	69.18	32.25	9.89	0.44	98.868	32.25	1080.000
350 - 400	0.00	4.04	79.66	42.75	13.40	0.52	121.478	42.75	1260.000
400 - 450	0.00	4.58	90.14	55.25	18.21	0.60	146.348	55.25	1440.000
450 - 500	0.00	5.12	100.62	69.75	24.42	0.68	173.448	69.75	1620.000
500 - 550	0.00	5.66	111.10	86.25	32.23	0.76	203.698	86.25	1800.000
550 - 600	0.00	6.20	121.58	104.75	41.04	0.84	236.998	104.75	1980.000
600 - 650	0.00	6.74	132.06	125.25	50.85	0.92	273.248	125.25	2160.000
650 - 700	0.00	7.28	142.54	147.75	61.66	0.99	312.498	147.75	2340.000
700 - 750	0.00	7.82	153.02	172.25	73.47	1.07	354.748	172.25	2520.000
750 - 800	0.00	8.36	163.50	198.75	86.28	1.15	399.998	198.75	2700.000
800 - 850	0.00	8.90	174.98	227.25	100.09	1.23	448.248	227.25	2880.000
850 - 900	0.00	9.44	186.46	257.75	114.90	1.31	498.498	257.75	3060.000
900 - 950	0.00	9.98	197.94	289.25	130.71	1.39	550.748	289.25	3240.000
950 - 1000	0.00	10.52	209.42	322.75	147.52	1.47	605.998	322.75	3420.000
ALLE	0.00	800	68.312	30.282	188	0.11	180.000	4.82	180.000
XOEM	.00	48.89	91.39	179.41	358.85	52.38	119.42		

AANTAL WAARDEN IN DEZE SECTOR = 17613.

Maactperiode '51-'60

Tijdperiodes met significantie golthoogte > 1.25 m

1 uur 1 0,0001 in een jaar

golthoogte	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	0,000514
1,75 - 2,25	0,3056	0,0685	0,03289	0,000825
2,25 - 3,75	0,0013	0,0255	0,021597	0,000824
3,75 - 4,25	0,0002	0,0087	0,01508	0,0093
4,25 - 4,75		0,0032	0,005593	0,00093
4,75 - 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	0,00028
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

Vervolg bijlage C2

De definitie voor de geschatte significante golfhoogte en de geschatte gemiddelde golfperiode uit het energiedichtheidsspectrum zijn [Roskam, 1988]:

$$H_{m_0} = \sqrt{m_0} \quad \text{met:} \quad m_n = \sum_{0.03}^{0.5} s(f) * f^n * \Delta f$$
$$T_{m_{01}} = \frac{m_0}{m_1}$$

waarin  $m_n$  = n-de moment van het spectrum  
 $s(f)$  = spectrale dichtheid  
 $f$  = frequentie

De definitie voor de representatieve  $H_{sig}$  is:

$$H_{sigrep} = \left( \frac{\sum_{i=1}^n (H_{si}^{5/2} f_i)}{\sum_{i=1}^n f_i} \right)^{2/5}$$

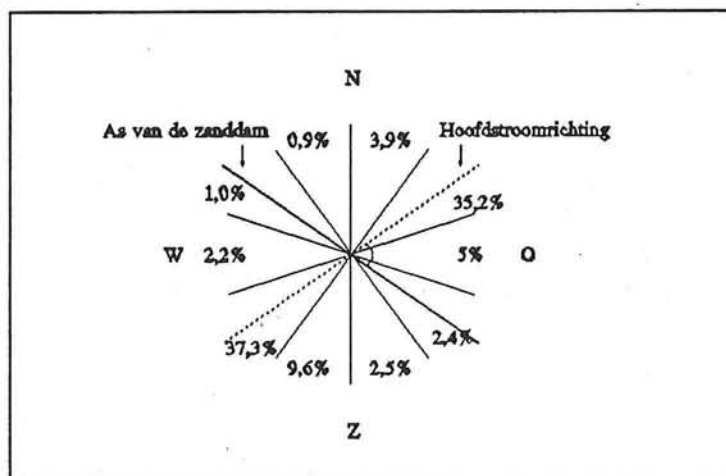
waarin  $H_{sigrep}$  = de representatieve golfhoogte voor een bepaalde windrichtingssector  
 $H_{si}$  = klassemidden van de golfhoogteklasse  $i$ ,  $i=1, 2, \dots, n$   
 $f_i$  = frequentie in die golfhoogteklasse

**Bijlage D1 Gemeten getijstroom.**

1) Redeker en Kollen

Meetpunt : Indus West  
 Meetperiode : 9 juni tot en met 22 juni 1978  
 Hoogte boven de bodem : 7,30 m  
 Maximale snelheid : 0,85 m/s  
 Hoek met de as van de zanddam : 70°

KLASSE (cm/sec) v Δa	HEETPUNT: INDUS WEST PERIODE : 9-6-1978 t/m 22-6-1978											
	324/ 0	0/ 36	36/ 72	72/ 108	108/ 144	144/ 180	180/ 216	216/ 252	252/ 288	288/ 324	SOH %	CUM %
140/ 130	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
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
SOH %	0.9	3.9	35.2	5.0	2.4	2.5	9.6	37.3	2.2	1.0	100.0	



Vervolg bijlage D1

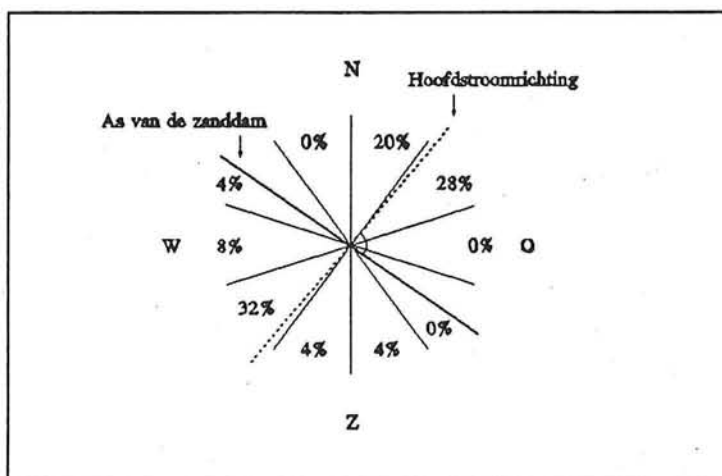
2) Bossinade en Bubbert

Meetpunt : Indusbank Noord  
 Meetperiode : 21 mei 1981  
 Hoogte boven de bodem : 0,50 m  
 Maximale snelheid : 0,33 m/s

Factor springtij : 1,22  
 Factor doortij : 0,79  
 Hoek met de as van de zanddam : 85°

tijd tov HW (uren)	snelheid (cm/s)	richting (°)
6 uur voor	28	47
5,5	28	49
5	24	44
4,5	25	33
4	25	24
3,5	21	15
3	20	20
2,5	17	2
2	4	322
1,5	14	283
1	27	258
0,5	27	231
HW	29	225

tijd tov HW (uren)	snelheid (cm/s)	richting (°)
0,5 na	24	229
1	17	219
1,5	17	216
2	17	218
2,5	33	218
3	18	220
3,5	21	229
4	10	180
4,5	5	38
5	9	72
5,5	16	64
6	25	39



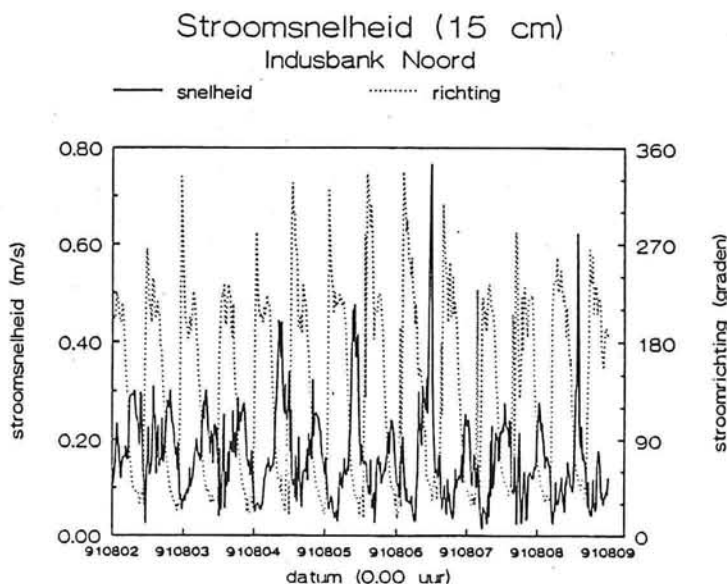
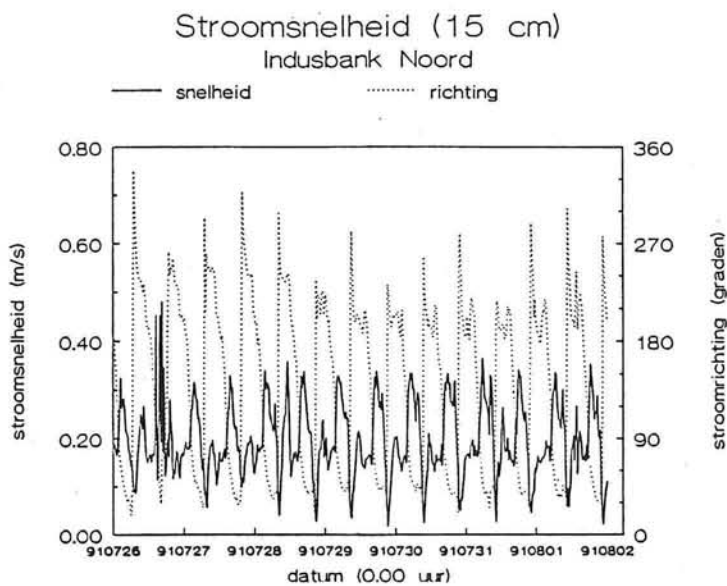
Vervolg bijlage D1

3) Verlaan en Spanhoff

Meetpunt	:	Indusbank Noord
Meetperiode	:	10 weken verdeeld over 1991 en 1992 (per meetperiode minimaal 2 weken gemeten)
Hoogte boven de bodem	:	0,15 m
Maximale snelheid	:	0,41 m/s
Overheersende richting	:	210° en 30°
Hoek met de as van de zanddam	:	97°

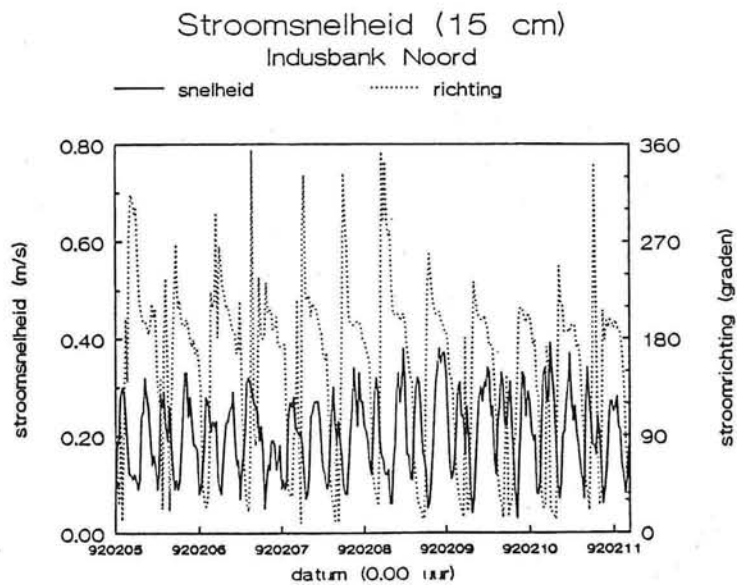
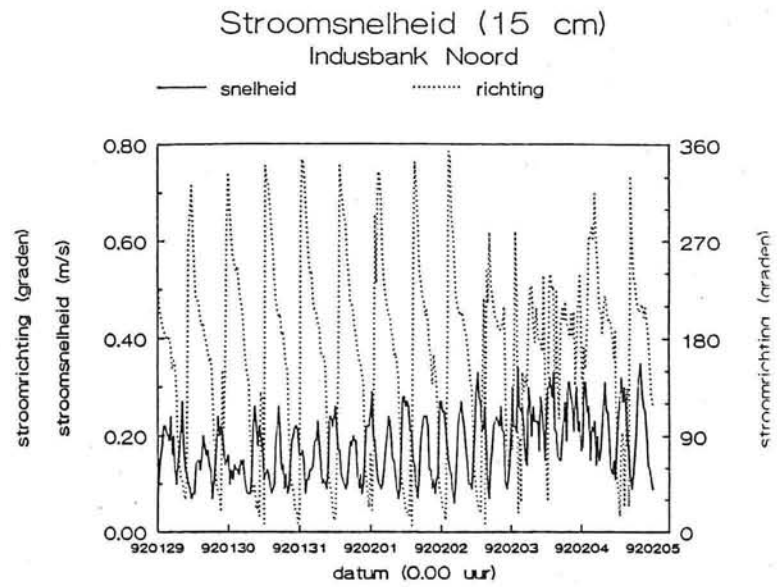
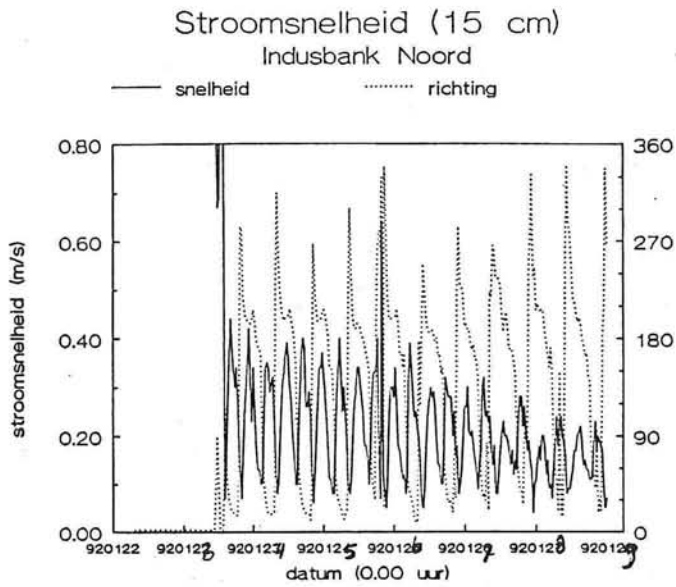
In de figuren zijn de metingen, die gebruikt worden tijdens de zandtransportberekeningen, weergegeven.

Reeks 1: 26-7-1991 tot 9-8-1991



Vervolg bijlage D1

Reeks 2: 22-1-1992 tot 11-2-1992



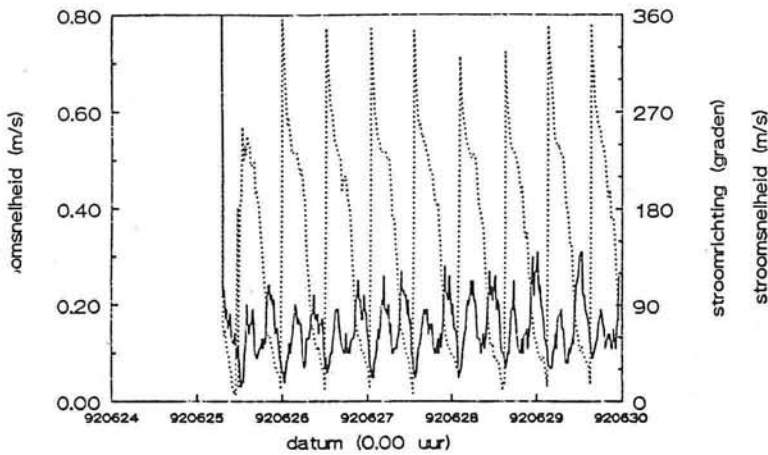


Vervolg bijlage D1

Reeks 3: 26-6-1992 tot 27-7-1992

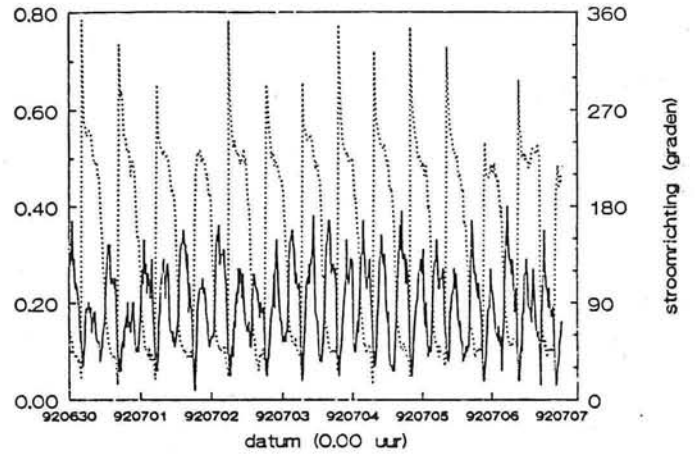
Stroomsnelheid (15 cm)  
Indusbank Noord

— snelheid      ..... richting



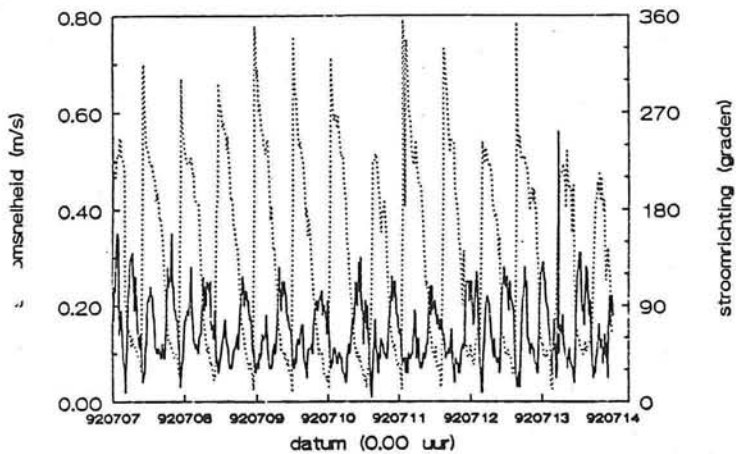
Stroomsnelheid (15 cm)  
Indusbank Noord

— snelheid      ..... richting



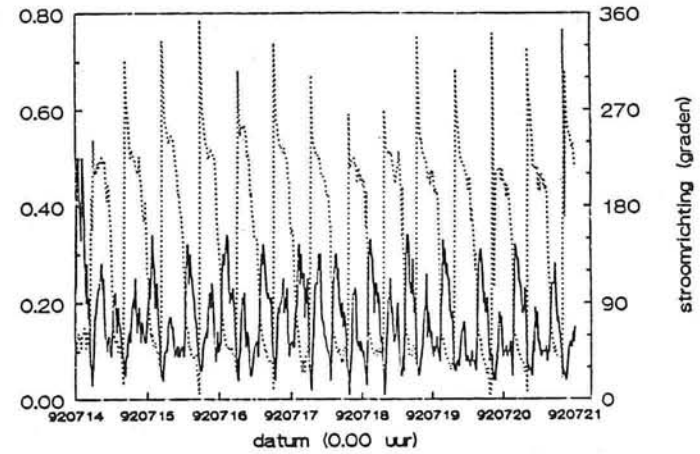
Stroomsnelheid (15 cm)  
Indusbank Noord

— snelheid      ..... richting



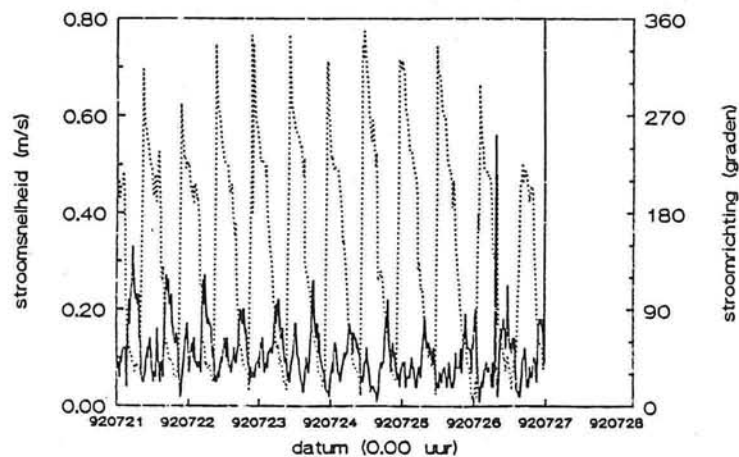
Stroomsnelheid (15 cm)  
Indusbank Noord

— snelheid      ..... richting



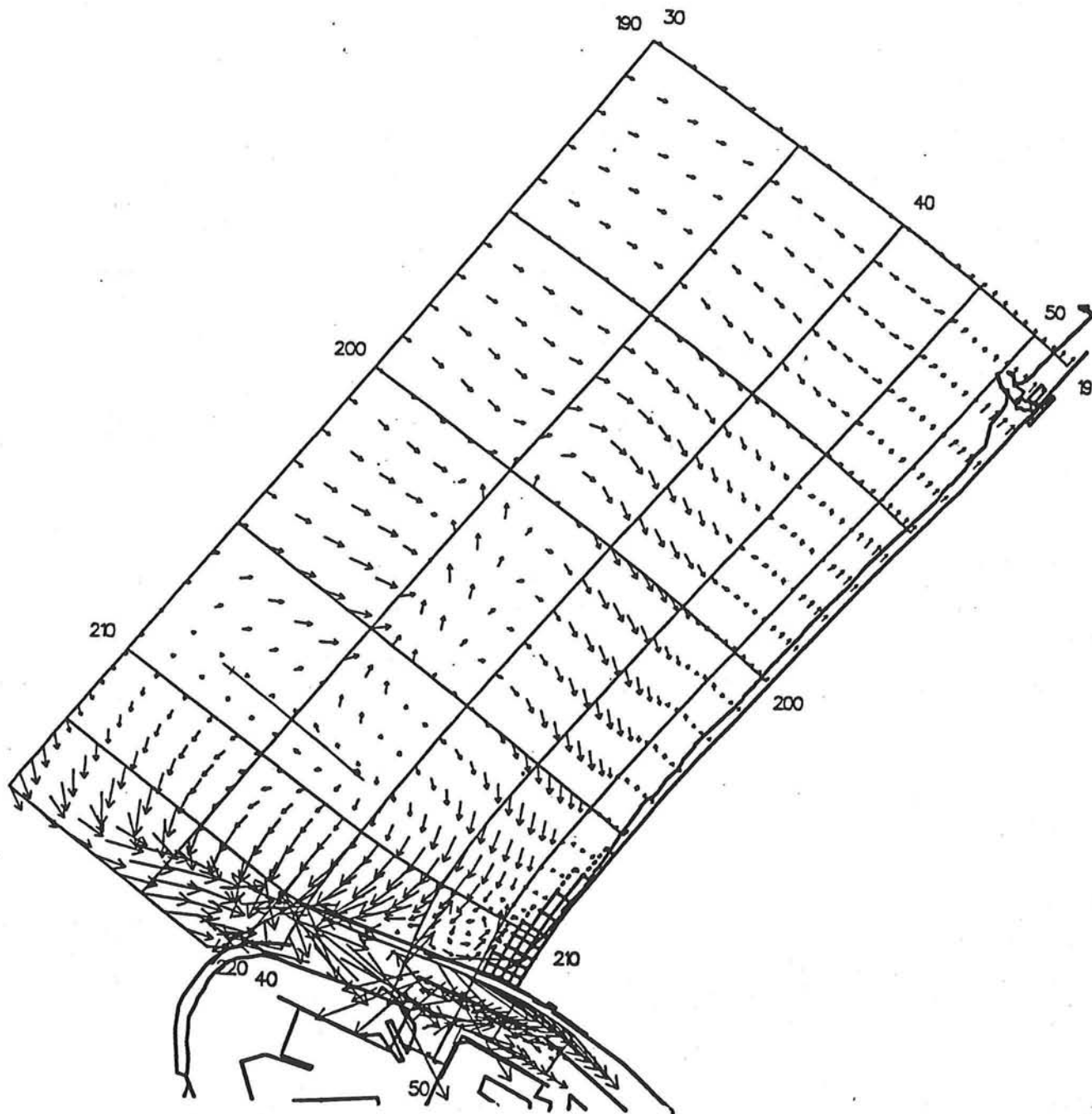
Stroomsnelheid (15 cm)  
Indusbank Noord

— snelheid      ..... richting



**Bijlage D2** Uitvoer Triwaq.

In deze bijlage wordt een voorbeeld gepresenteerd van reststroomsnelheden op 1,5 m boven de bodem die uit een berekening met het model Triwaq zijn gevolgd (figuur 11 uit De Kok et al, 1995). De zanddam is hierin schematisch weergegeven door een lijn.



Berekende getijgemiddelde snelheden op 1,5 m boven de bodem rond Hoek van Holland  
(1 cm = 21 cm/s)

## **Bijlage E      Samenvatting van de uitwerking van de bodemmonsters.**

In het kader van het onderzoek naar het gedrag van de onderwater zanddam bij Loswal Noord is een onderzoek gedaan naar de sedimentaire samenstelling van de onderwater zanddam en zijn directe omgeving. Hiervoor zijn 14 steekboringen en 6 happen genomen met het survey-schip de Zirfaea van RWS. De analyse is uitgevoerd door het laboratorium van de RGD in samenwerking met de afdeling mariene Geologie.

Bij het beschrijven van de monsters is gebruik gemaakt van een Hitachi-Nikon vergelijkingsmicroscop. Hiermee kan de korrelgrootte van het zand vrij nauwkeurig worden geschat door het zand, op een beeldscherm vergroot, te vergelijken met zand waarvan de korrelgrootte bekend is. Ook de mate van spreiding kan worden vastgesteld. Tevens is de korrelgrootte bepaald met de Malvern Particle Sizer (MPS). Deze laatste methode geeft iets grotere waarden dan de eerst genoemde methode. Het verschil tussen de beide methoden is ongeveer 20 à 22 %.

Van de boringen zijn twee geologische profielen samengesteld (zie de bijgevoegde figuur; de ligging van de punten A, B en C zijn in de figuur van de korreldiameters gegeven):

- 1) Noordprofiel A-B.
- 2) Zuidprofiel A-C.

De profielen zijn in grofweg 6 pakketten in te delen. Pakket 1 is de oppervlakte laag en pakket 6 is de onderste laag. Een korte beschrijving van de 6 pakketten wordt in deze bijlage gegeven:

**Pakket 6 :** Deze laag bestaat uit grijsbruin, matig tot uiterst grof zand met plaatselijk verweerd schelpgruis en verweerde schelpfragmenten. Deze schelpresten zijn door een rivier opgenomen uit oudere mariene afzettingen van de Eem Formatie. Dit pakket wordt tot de Kreftenheye Formatie gerekend met een Pleistocene ouderdom.

**Pakket 5 :** Deze laag bestaat uit matig tot grof zand afgewisseld met klei- en siltlaagjes. Het gemiddelde slibpercentage in deze laag is 4,6%. Het pakket is afgezet tijdens het vroeg-holoceen waarin het zeewater hoger kwam te staan en een deel van het land overstroomde. De afzettingen behoren tot de Elbow Formatie.

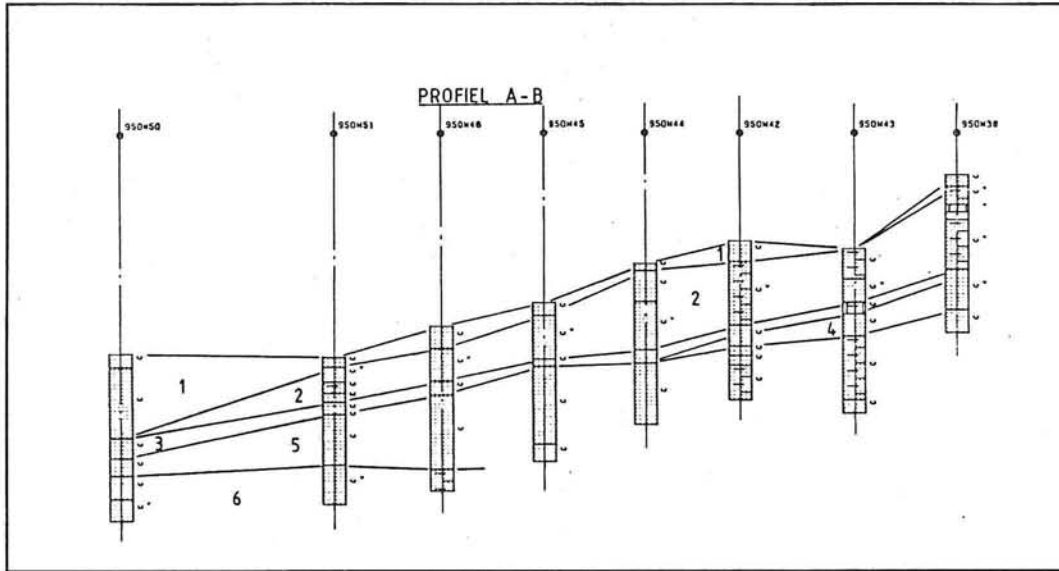
**Pakket 3 :** Deze laag bestaat uit sterk slibhoudend zand en plaatselijk uit klei. Het gemiddelde slibpercentage bedraagt 13,5 %. Bovendien bevat deze laag zeer veel schelpkleppen van *Spisula Elliptica*. Deze laag is zeer goed te volgen en komt in het hele onderzoeksgebied voor. Niet duidelijk is of deze laag is ontstaan door natuurlijke afzetting van aangevoerd materiaal of door stortingen van slibrijk materiaal ter plaatse of in de directe omgeving van de zanddam.

**Pakket 2 en 4:** Deze lagen bestaan uit zand met chaotische structuren en plaatselijk kleiflasers en kleiklasten. Het gemiddelde slibpercentage bedraagt 6,7%. Het is goed mogelijk dat ook tijdens de afzetting van deze lagen slibrijk materiaal is gestort ter plaatse van de zanddam of in zijn directe omgeving.

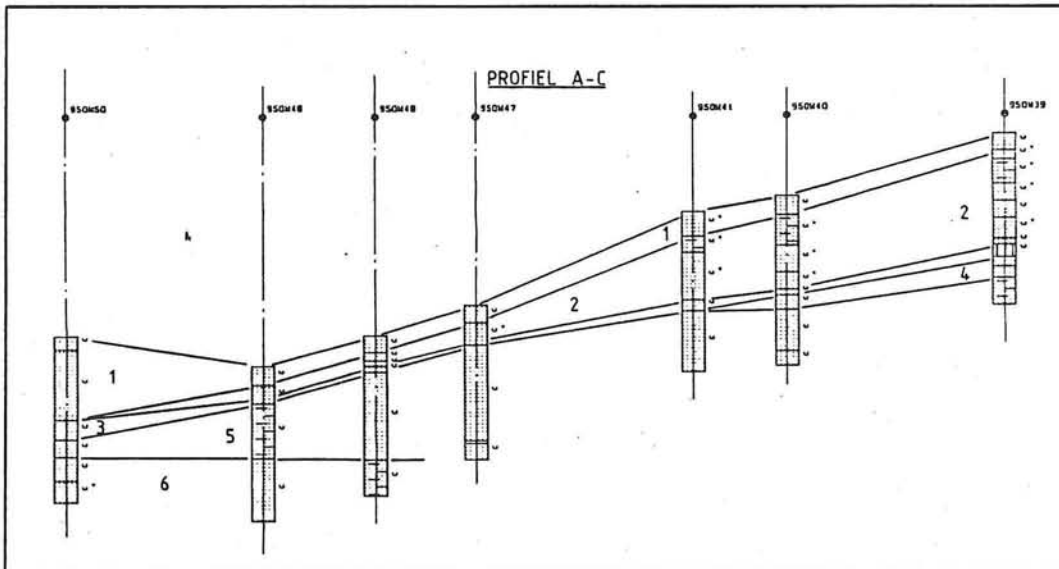
**Pakket 1 :** Deze bovenste laag en voor dit onderzoek de meest belangrijke laag, bestaat uit matig tot grof schoon zand met een percentage aan slib van 1,7% (inclusief het afwijkende bodemmonster). De kleur van het zand is olijfgroen tot olijfgrijs. Ook is er een spoor tot weinig schelpfragmenten en plaatselijk een spoor grind aanwezig. Dit pakket wordt tot de Bligh Bank Formatie gerekend.

Vervolg bijlage E

In de onderstaande figuren zijn de genoemde profieldoorsneden gegeven, waarin de 6 voorkomende pakketten zijn aangegeven.



Noordprofiel: A-B



Zuidprofiel: A-C

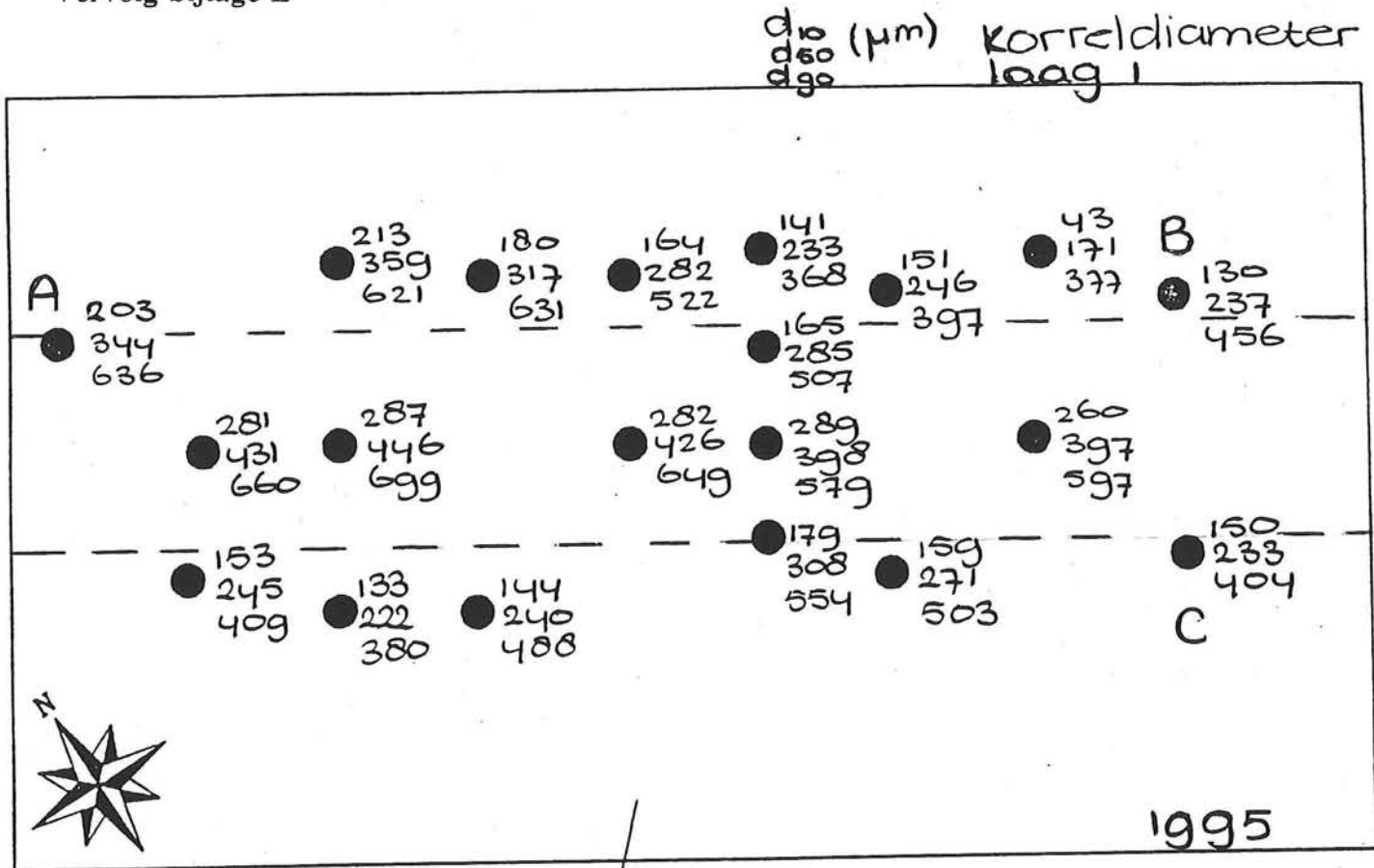
**Vervolg bijlage E**

Nummer van het bodemonmonster	D <sub>50</sub> bepaald met MPS (μm)
95DW38	240
95DW39	<b>230</b>
95DW40	<b>270</b>
95DW41	310
95DW42	250
95DW43	170
95DW44	230
95DW45	<b>280</b>
95DW46	315
95DW47	<b>240</b>
95DW48	<b>220</b>
95DW49	245
95DW50	<b>345</b>
95DW51	<b>360</b>
95G52	<b>430</b>
95G53	<b>450</b>
95G54	<b>425</b>
95G55	<b>400</b>
95G56	285
95G57	400

Tabel met de gemiddelde korreldiameters bepaald met behulp van de MPS.

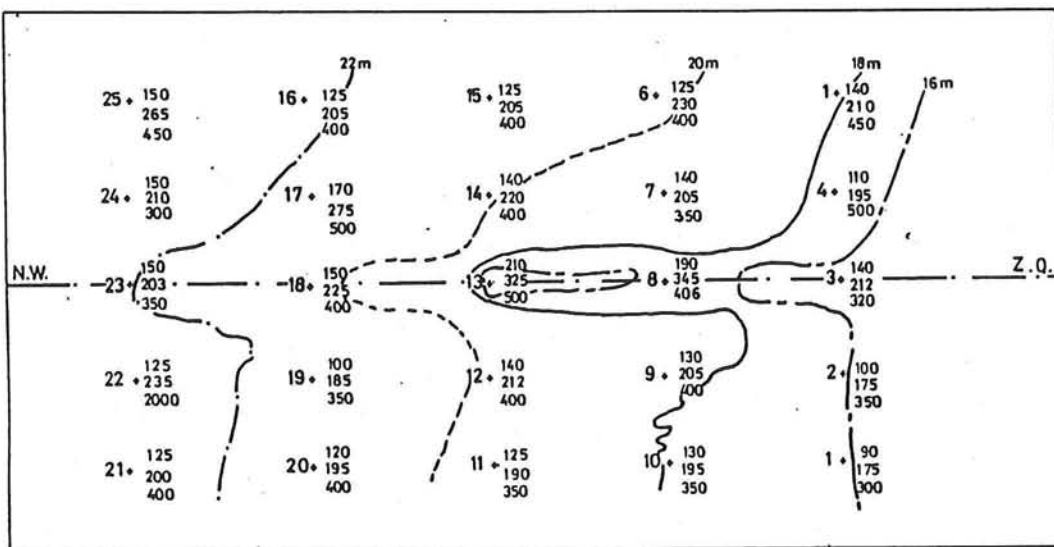
Op de volgende bladzijde zijn de korreldiameterverdelingen van de zanddam gegeven die volgen uit het bodemonderzoek uit 1995 en het bodemonderzoek uit 1983. In het overige deel van de bijlagen zijn de figuren gegeven waarin het gehalte aan slib en de kleur van de bovenste laag is aangegeven.

Vervolg bijlage E



--- = plaats van de tenen van de zanddam

LODINGSGBIED ZANDBERGING



Korreldiameterverdeling over de zanddam

100                    D10 = 100 µm  
 19 • 185 = gepland monsterpunt 19 met D50 = 185 µm  
 350                    D90 = 350 µm

1983



Bijlage F Gegevens over de plaats van de kam.

Eerst worden de tabellen met de gegevens over de plaats van de top per raai van alle lodingsjaren en de verplaatsingen van de kam per lodingsinterval gegeven. Vervolgens zal in de figuren F1 en F2 worden aangetoond dat voor de beschrijving van de verplaatsingen van de kam van de zanddam, volstaan kan worden met het gebruik van de lodingen uit de jaren 1982, 1986, 1991 en 1995 in plaats van alle lodingen. In figuur F3 is de verplaatsing van de top per raai over de perioden 1982-1986, 1986-1991 en 1991-1995 weergegeven.

Plaats van de top van de zanddam tov de 0-lijn (m)									
	1982	1983	1985	1986	1991	1992	1993	1994	1995
raai 4	1107	1125	1165	1156	1231	1263	1250	1275	1295
raai 5	1125	1113	1175	1169	1231	1256	1244	1256	1249
raai 6	1106	1125	1141	1149	1188	1213	1194	1213	1200
raai 7	1087	1106	1150	1130	1177	1196	1194	1175	1205
raai 8	1112	1116	1150	1144	1188	1206	1192	1206	1206
raai 9	1099	1097	1119	1135	1188	1200	1200	1206	1200
raai 10	1105	1106	1110	1125	1181	1176	1188	1194	1175
raai 11	1106	1106	1131	1126	1181	1175	1181	1187	1175
raai 12	1105	1106	1119	1144	1175	1175	1175	1188	1185
raai 13	1100	1088	1128	1125	1167	1169	1181	1189	1181
raai 14	1081	1081	1124	1113	1181	1168	1169	1181	1180
raai 15	1130	1131	1119	1127	1181	1181	1175	1194	1194
raai 16	1099	1126	1144	1144	1181	1188	1181	1194	1193
raai 17	1113	1119	1131	1125	1188	1188	1188	1194	1193
raai 18	1108	1124	1138	1138	1188	1188	1181	1200	1200
raai 19	1116	1124	1138	1149	1194	1200	1188	1206	1205
raai 20	1130	1138	1144	1130	1197	1206	1194	1210	1205
raai 21	1086	1094	1144	1138	1200	1200	1194	1216	1200
raai 22	1100	1116	1125	1137	1188	1200	1188	1200	1200
raai 23	1104	1094	1138	1125	1184	1188	1181	1194	1194
raai 24	1094	1119	1112	1169	1194	1200	1181	1206	1206
raai 25	1094	1109	1131	1144	1200	1219	1194	1219	1219
raai 26	1101	1128	1113	1125	1200	1217	1200	1211	1213
raai 27					1207	1217	1201	1217	1224
raai 28	1102	1176	1106	1128	1206	1206	1200	1211	1219
raai 29	1104	1131	1100	1112	1183	1206	1206	1211	1206
raai 30	1081	1127	1140	1144	1187	1199	1193	1213	1213
raai 31					1166	1176	1191	1191	1193
raai 32					1164	1175	1180	1181	1193
raai 33					1144	1149	1188	1181	1163
raai 34					1161	1172	1172	1169	1187

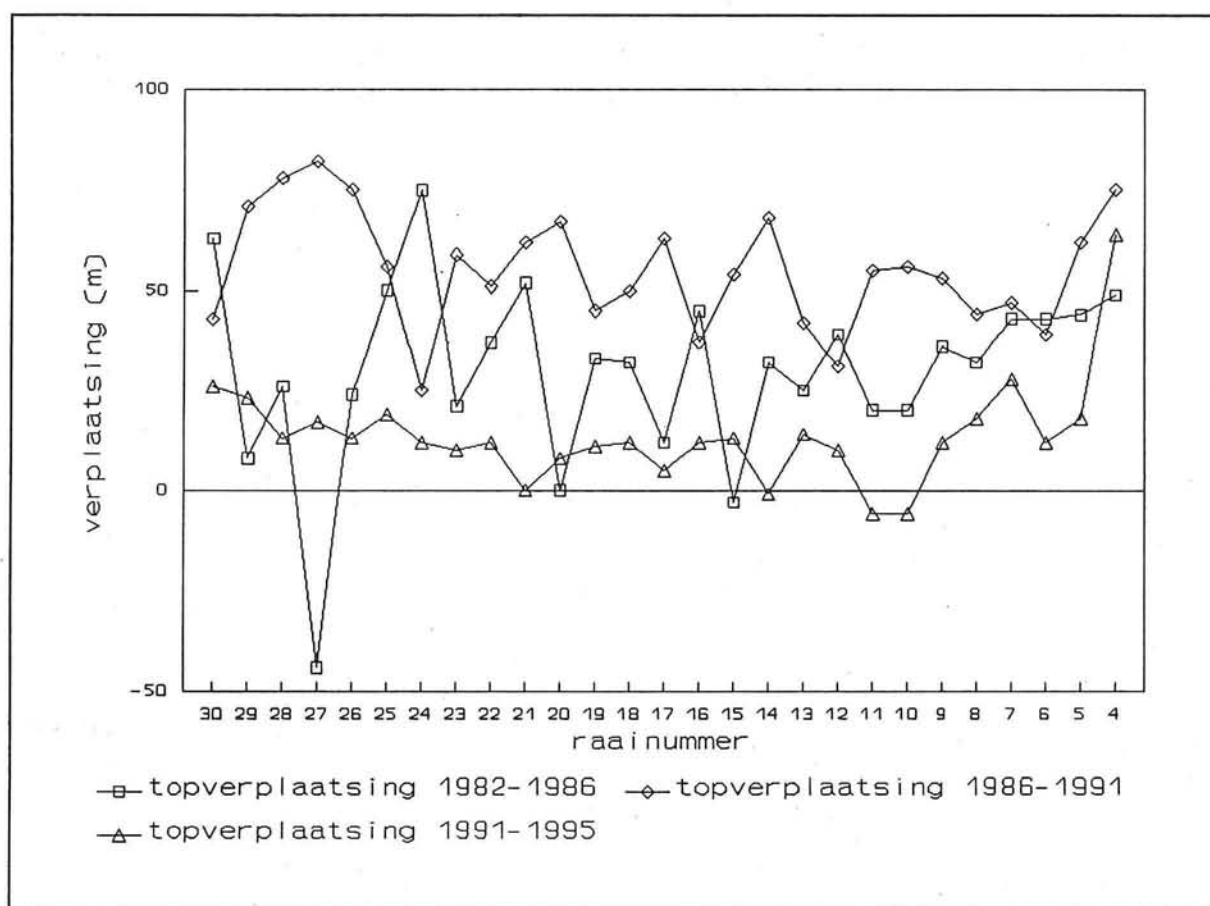
Verplaatsing van de top van de zanddam (m)									
	'82-'83	'83-'85	'85-'86	'86-'91	'91-'92	'92-'93	'93-'94	'94-'95	
raai 4	18	40	-9	75	32	-13	25	20	
raai 5	-12	62	-8	62	25	-12	12	-7	
raai 6	19	16	8	39	25	-19	19	-13	
raai 7	19	44	-20	47	19	-2	-19	30	
raai 8	4	34	-6	44	18	-14	14	0	
raai 9	-2	22	16	53	12	0	6	-6	
raai 10	1	4	15	56	-5	12	6	-19	
raai 11	0	25	-5	55	-6	6	6	-12	
raai 12	1	13	25	31	0	0	13	-3	
raai 13	-12	40	-3	42	2	12	8	-8	
raai 14	0	43	-11	68	-13	1	12	-1	
raai 15	1	-12	8	54	0	-6	19	0	
raai 16	27	18	0	37	7	-7	13	-1	
raai 17	6	12	-6	63	0	0	6	-1	
raai 18	18	14	0	50	0	-7	19	0	
raai 19	8	14	11	45	6	-12	18	-1	
raai 20	8	6	-14	67	9	-12	16	-5	
raai 21	8	50	-6	62	0	-6	22	-16	
raai 22	16	9	12	51	12	-12	12	0	
raai 23	-10	44	-13	59	4	-7	13	0	
raai 24	25	-7	57	25	6	-19	25	0	
raai 25	15	22	13	56	19	-25	25	0	
raai 26	27	-15	12	75	17	-17	11	2	
raai 27					10	-16	16	7	
raai 28	74	-70	22	78	0	-6	11	8	
raai 29	27	-31	12	71	23	0	5	-5	
raai 30	46	13	4	43	12	-6	20	0	
raai 31					10	15	0	2	
raai 32					11	5	1	12	
raai 33					5	39	-7	-18	
raai 34					11	0	-3	18	



### Vervolg bijlage F

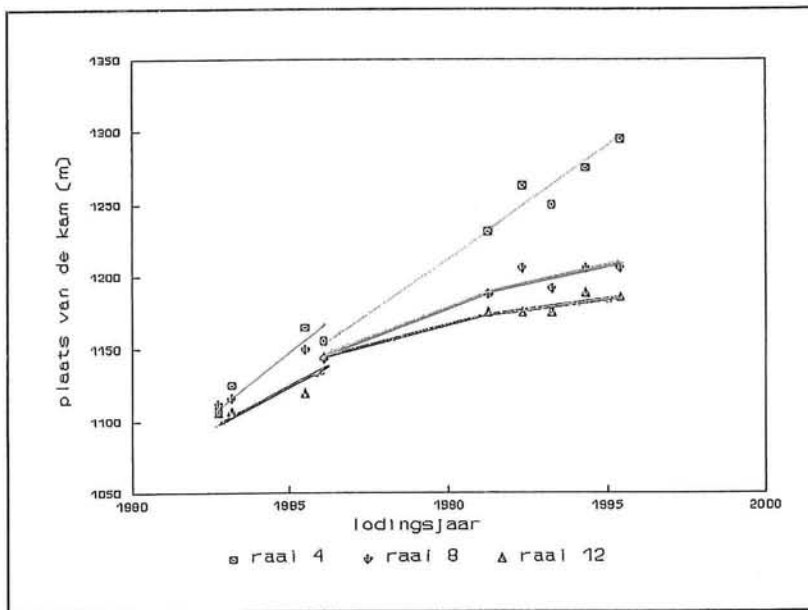
In de figuren F1 en F2 zijn de plaatsen van de kam van de zanddam in de tijd weergegeven van respectievelijk de raaien 4, 8, 12 en 16, 20, 32 (alle lodingen worden gebruikt). Vervolgens zijn de punten benaderd door rechte lijnen. Hieruit blijkt dat de plaatsen van de kam in de tijd per raai, in 3 perioden kunnen worden onderverdeeld. Deze 3 perioden komen overeen met de perioden die tijdens de analyse van de plaats van de kam van de zanddam worden gebruikt. Ook is duidelijk te zien dat de rechte lijnen vrijwel door de begin- en eindloding gaan van de perioden 1982-1986, 1986-1991 en 1991-1995. Voor de analyse van de verplaatsing van de kam van de zanddam is het dus niet noodzakelijk om alle lodingen te gebruiken.

In onderstaande figuur zijn de verplaatsingen per interval (1982-1986, 1986-1991 en 1991-1995) weergegeven.

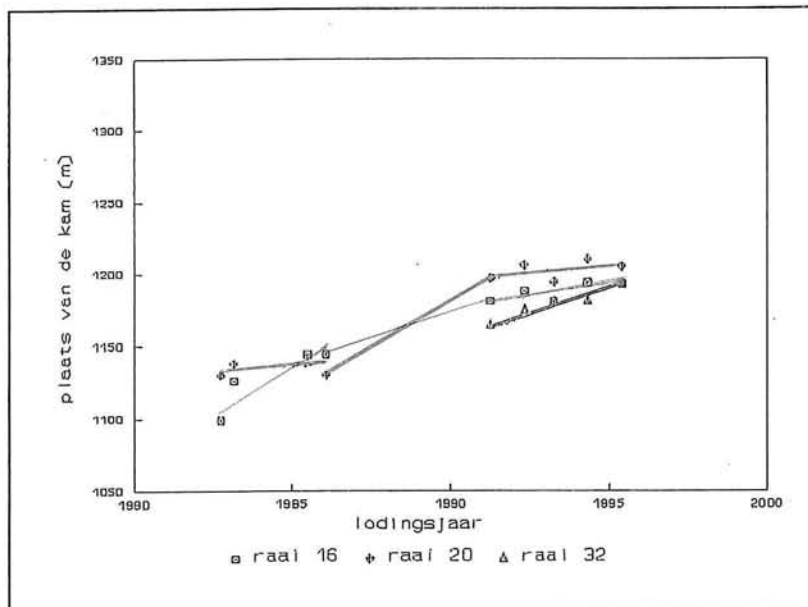


Figuur F3 Kamverplaatsing over de lodingsintervallen 1982-1986, 1986-1991 en 1991-1995.

Vervolg bijlage F



Figuur F1 Plaats van de kam van de zanddam in de tijd: raai 4, raai 8 en raai 12.



Figuur F2 Plaats van de kam van de zanddam in de tijd: raai 16, raai 20 en raai 32.

**Bijlage G Gegevens over de plaats van de zwaartelijnen.**

De plaats van de zwaartelijnen per raai van alle lodingsjaren en de verplaatsingen van de zwaartelijnen per lodingsinterval zijn in onderstaande tabel vermeld. In de figuren G1 en G2 wordt aangetoond dat tijdens de analyse van de verplaatsingen van de zwaartelijnen van de zanddam, volstaan kan worden met het gebruik van de lodingen uit de jaren 1982, 1986, 1991 en 1995 in plaats van alle lodingen. Tenslotte wordt in figuur G3 de verplaatsing van de zwaartelijnen per raai over de perioden 1982-1986, 1986-1991 en 1991-1995 weergegeven.

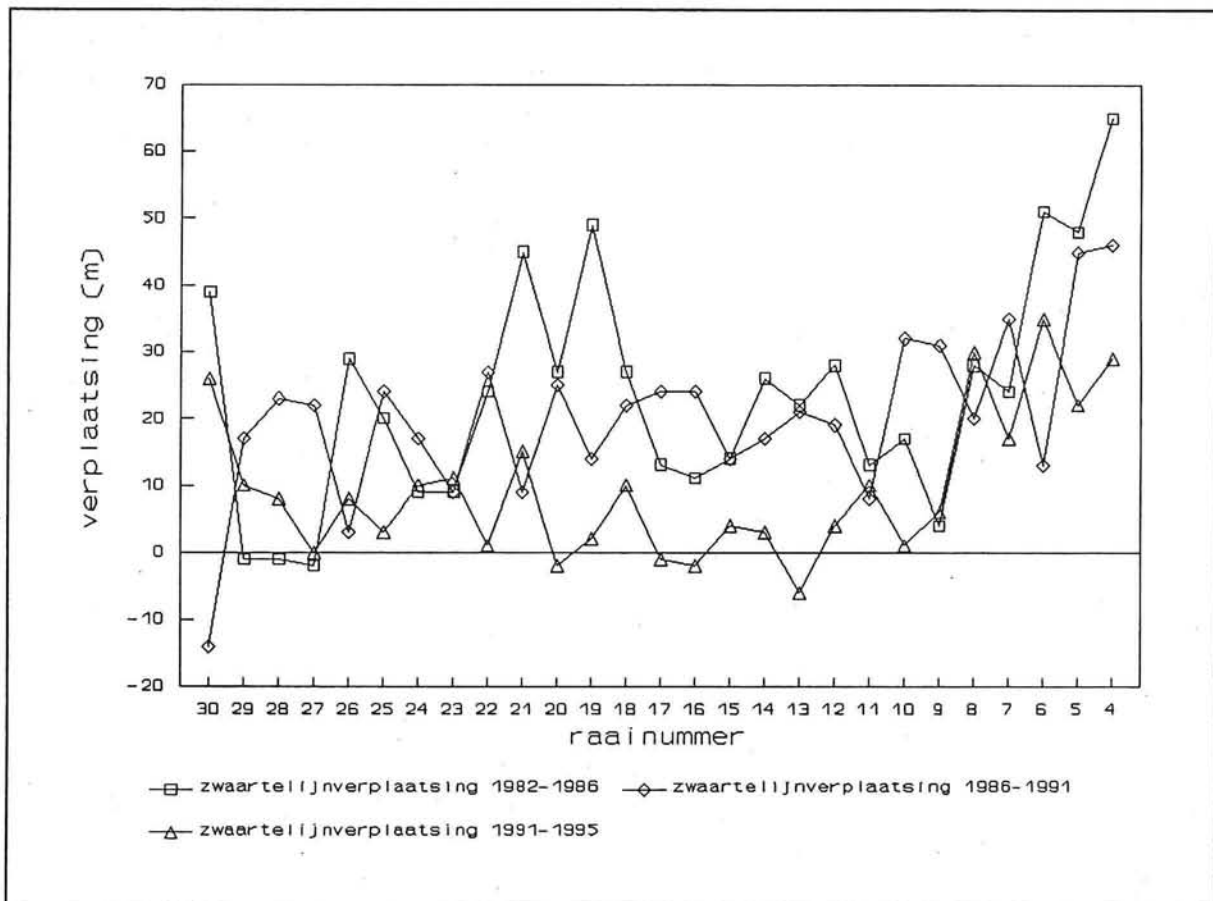
PLaats van de zwaartelijnen van de zanddam tov de 0-lijn (m)									
	1982	1983	1985	1986	1991	1992	1993	1994	1995
raai 4	1116	1116	1177	1181	1227	1224	1249	1253	1256
raai 5	1118	1122	1165	1166	1211	1210	1233	1225	1233
raai 6	1111	1123	1160	1162	1175	1196	1218	1211	1210
raai 7	1104	1115	1120	1128	1163	1173	1178	1187	1180
raai 8	1102	1116	1130	1130	1150	1155	1166	1167	1180
raai 9	1107	1105	1115	1111	1142	1155	1156	1153	1148
raai 10	1098	1094	1113	1115	1147	1138	1164	1171	1148
raai 11	1116	1110	1130	1129	1137	1142	1143	1149	1147
raai 12	1093	1102	1120	1121	1140	1141	1140	1144	1144
raai 13	1088	1099	1107	1110	1131	1134	1149	1145	1125
raai 14	1090	1087	1110	1116	1133	1135	1141	1137	1136
raai 15	1113	1118	1126	1127	1141	1138	1146	1138	1145
raai 16	1109	1111	1120	1120	1144	1141	1146	1143	1142
raai 17	1111	1112	1125	1124	1148	1148	1154	1155	1147
raai 18	1103	1113	1120	1130	1152	1152	1153	1160	1162
raai 19	1090	1107	1120	1139	1153	1159	1159	1164	1155
raai 20	1103	1110	1126	1130	1155	1155	1163	1167	1153
raai 21	1091	1095	1121	1136	1145	1153	1159	1162	1160
raai 22	1104	1101	1095	1128	1155	1169	1175	1166	1156
raai 23	1119	1125	1120	1128	1137	1149	1162	1159	1148
raai 24	1118	1121	1120	1127	1144	1153	1154	1161	1154
raai 25	1116	1122	1126	1136	1160	1168	1167	1173	1163
raai 26	1134	1150	1137	1163	1166	1164	1174	1182	1174
raai 27	1142	1166	1145	1140	1162	1165	1168	1170	1162
raai 28	1129	1140	1129	1128	1151	1158	1164	1171	1159
raai 29	1163	1158	1168	1162	1179	1188	1192	1201	1189
raai 30	1151	1166	1203	1190	1176	1178	1188	1195	1202
raai 31					1169	1179	1195	1194	1181
raai 32					1153	1171	1182	1176	1182
raai 33					1175	1181	1181	1187	1185
raai 34					1148				1187



### Vervolg bijlage G

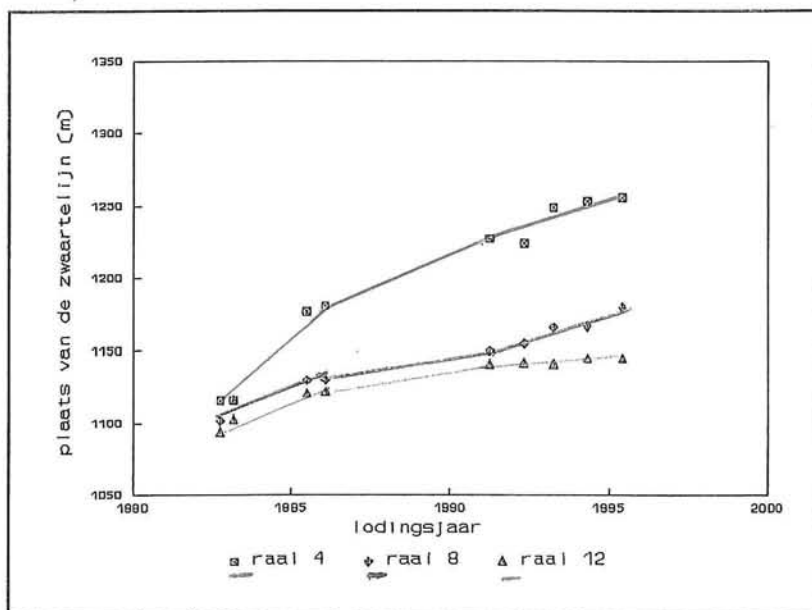
In de figuren G1 en G2 zijn de plaatsen van de zwaartelijnen van de zanddam in de tijd weergegeven van respectievelijk de raaien 4, 8, 12 en 14, 16, 20, 30 (alle lodingen worden gebruikt). Vervolgens zijn de punten benaderd door rechte lijnen. Hieruit blijkt dat de plaatsen van de zwaartelijnen in de tijd per raai, in 3 perioden kunnen worden onderverdeeld. Deze 3 perioden komen overeen met de perioden die tijdens de analyse van de verplaatsing van de zwaartelijnen van de zanddam worden gebruikt. Ook is duidelijk te zien dat de rechte lijnen vrijwel door de begin- en eindloding gaan van de perioden 1982-1986, 1986-1991 en 1991-1995. Voor de analyse van de verplaatsing van de zwaartelijnen van de zanddam is het dus niet noodzakelijk om alle lodingen te gebruiken.

In onderstaande figuur zijn de verplaatsingen van de zwaartelijnen per interval (1982-1986, 1986-1991 en 1991-1995) weergegeven.

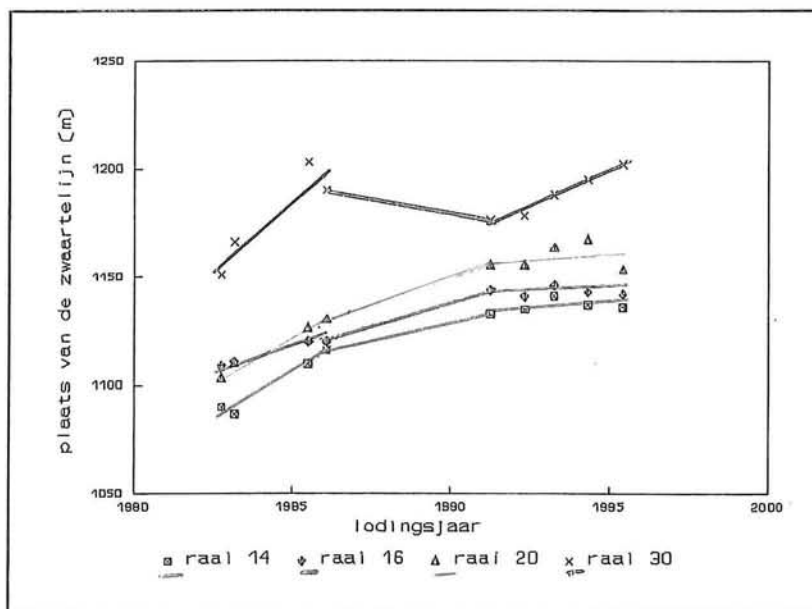


Figuur G3 Zwaartelijnenverplaatsing over de lodingsintervallen 1982-1986, 1986-1991 en 1991-1995.

Vervolg bijlage G

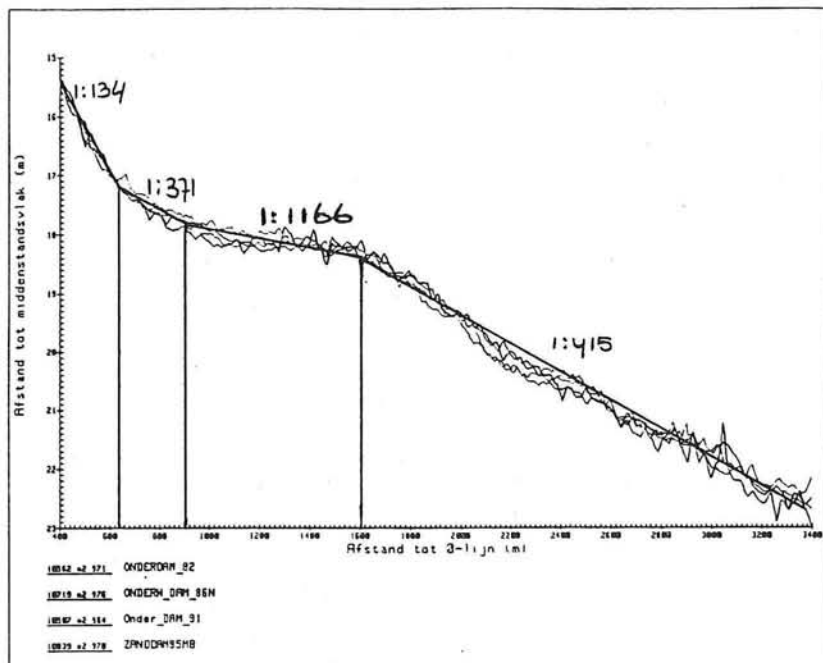


Figuur G1 Plaats van de zwaartelijn van de zanddam in de tijd: raai 4, raai 8 en raai 12.



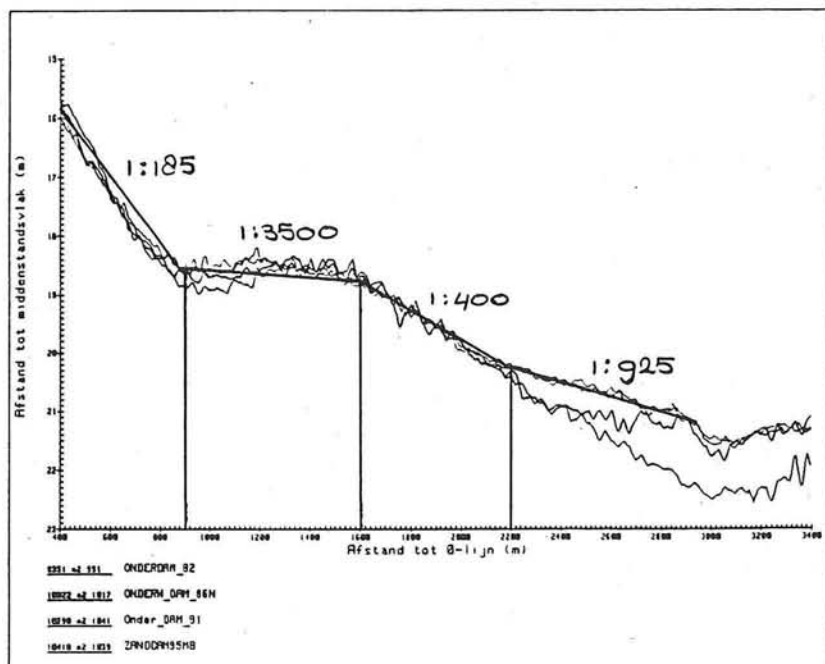
Figuur G2 Plaats van de zwaartelijn van de zanddam in de tijd: raai 14, raai 16, raai 20 en raai 30.

Bijlage H1 Bodemhelling evenwijdig aan de zanddam.



LENGTEDOORSNEDE VAN DE ZANDDAM : 850 M UIT DE 0-LIJN

Langsdoorsnede aan de zuidzijde van de zanddam: benadering van de helling van de bodem.



LANGSDOORSNEDE VAN DE ZANDDAM : 1450 M UIT DE 0-LIJN

Langsdoorsnede aan de noordzijde van de zanddam: benadering van de helling van de bodem.

**Bijlage H2 Berekening golfinvloed.**

***Grenscondities van H en T met betrekking op het zandtransport.***

Voor het bepalen van het gedeelte van het jaar dat de orbitaalbeweging ten gevolge van de golven groter is dan de kritische snelheid is gebruik gemaakt van de lineaire golftheorie. De bijbehorende formules zijn in bijlage M terug te vinden. De kritische snelheid is vastgesteld met behulp van Shields. De volgende  $v_{krit}$  zijn gevonden:

Zuidzijde van de zanddam  $\Rightarrow v_{krit} = 0,27$  m/s

Top van de zanddam  $\Rightarrow v_{krit} = 0,31$  m/s

Noordzijde van de zanddam  $\Rightarrow v_{krit} = 0,28$  m/s

Er treedt zandtransport ten gevolge van de orbitaalbeweging van golven bij de volgende combinaties van T en  $H_{min}$  (deze gevonden waarden gelden voor de in raai 16 gemeten dieptes in de dwarsdoorsnede dit zijn voor de zuidzijde, top en noordzijde respectievelijk 18,16 m, 15,78 m en 18,79 m):

T (s)	$H_{min}$ zuidzijde (m)	$H_{min}$ top (m)	$H_{min}$ noordzijde (m)
4,5		5,17	
5	4,07	3,22	4,65
6	2,06	1,84	2,29
7	1,45	1,39	1,58
8	1,19	1,18	1,29
9	1,06	1,07	1,13
10	0,98	1,00	1,04
11	0,92	0,96	0,98

Wanneer de diepte afneemt, zullen lagere golven invloed hebben op de snelheden bij de bodem. Met behulp van de in bijlage C2 vermelde tabellen (golfhoogte - golfperiode) zal het percentage, dat de orbitaalbeweging van de golven invloed heeft op het zand bij de bodem, per jaar berekend worden. Dit is een grove schatting. Er zijn drie verschillende sets van gegevens beschikbaar. De eerste set bevat metingen over de periode 1951 tot en met 1960 (visuele waarnemingen), de tweede set bevat de meetgegevens over de periode 1979 tot en met 1986 (instrumentele metingen) en de derde set gegevens beslaat metingen uit de periode 1979 tot en met 1992. Deze laatste set gegevens is alleen niet in de vorm verwerkt, zoals die voor dit onderzoek geschikt is. Desalniettemin kan de derde set ter vergelijking gebruikt worden. Aan de hand van de in bovenstaande tabel vermelde grenzen van combinaties van  $H_{min}$  en T kan het percentage van voorkomen van golven, die een orbitaalbeweging groter dan  $v_{krit}$  veroorzaken, worden geschat.



## Vervolg bijlage H2

In de onderstaande tabel zijn de genoemde percentages vermeld voor de drie verschillende dieptes die voorkomen ter hoogte van raai 16. De percentages zijn schattingen en geen exacte berekeningen.

	Zuidzijde van de zanddam	Top van de zanddam	Noordzijde van de zanddam
Eerste set	23 %	27 %	19 %
Tweede set	10 %	12 %	9 %
Derde set	7 %	7 %	7 %

De drie sets geven nogal verschillende uitkomsten te zien. Dit komt doordat de eerste set gegevens voor de langere golfperioden een percentage van voorkomen van 12 % geeft, tegen een percentage van 0,62 % voor dezelfde golfperiodeklasse in de tweede set gegevens. De verklaring hiervoor is dat de eerste set gegevens uit visuele waarnemingen bestaat. Uit verschillende onderzoeken is gebleken dat de visuele golfhoogten goed overeen komen met gemeten golfhoogten. Dit is echter niet het geval voor de visueel waargenomen golfperioden, waardoor de eerste set gegevens voor dit geval minder betrouwbaar zijn. De derde set gegevens is niet geheel in goede vorm beschikbaar voor de toepassing die tijdens dit onderzoek gebruikt wordt. Daarom worden de gegevens uit de tweede set het meest geschikt gevonden voor een weergave van het percentage van overschrijden van de  $v_{krit}$  door de orbitaalbeweging van golven.

Bijlage I Hoogte en hoogteveranderingen van de top

In deze bijlage zijn de volgende tabellen opgenomen:

Tabel I1: Hoogte van de top t.o.v. het MV.

Tabel I2: Hoogteverandering van de top per lodingsinterval.

Tabel I3: Gemiddelde hoogteverandering van de top per lodingsinterval.

Tabel I4: Relatieve hoogteverandering.

Tabel I5: Hoogteverandering in relatie tot de waterdiepte boven de top.

Tabel I6: Absolute hoogteverandering van de top per lodingsinterval.

Hoogte van de top ten opzichte van het MV (m)											
	1982	1983	1985	1986	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995
raai 34							-19,27	-19,30	-19,24	-18,95	-19,36
raai 33							-19,01	-19,11	-18,78	-18,74	-19,05
raai 32							-18,78	-18,93	-18,79	-18,46	-18,79
raai 31							-18,85	-18,98	-18,86	-18,70	-18,72
raai 30							-18,72	-18,71	-18,56	-18,46	-18,60
raai 29							-17,83	-17,82	-17,57	-17,68	-17,87
raai 28							-16,90	-17,00	-16,87	-17,11	-17,45
raai 27							-16,53	-15,87	-16,34	-16,64	-16,89
raai 26							-15,91	-15,59	-15,81	-16,16	-16,40
raai 25							-15,17	-14,98	-14,81	-15,56	-15,66
raai 24							-14,90	-15,12	-14,90	-15,57	-15,80
raai 23							-16,02	-15,82	-15,75	-15,88	-16,16
raai 22							-16,12	-16,22	-16,24	-16,08	-16,28
raai 21				-14,94	-16,45	-16,58	-15,75	-15,10	-15,16	-15,73	-16,23
raai 20				-14,66	-15,79	-15,48	-15,07	-14,73	-14,67	-15,62	-15,74
raai 19				-14,77	-15,49	-15,81	-14,73	-15,25	-14,82	-15,14	-15,39
raai 18				-14,86	-15,95	-16,14	-14,87	-15,25	-14,74	-15,25	-15,71
raai 17				-15,86	-15,73	-15,97	-15,03	-15,48	-15,28	-15,41	-15,69
raai 16				-14,85	-15,78	-15,4	-15,42	-15,40	-14,93	-15,37	-15,78
raai 15				-15,25	-16,14	-15,84	-15,15	-15,33	-14,80	-15,36	-15,66
raai 14	-15,64	-15,79	-15,47	-15,57	-16,3	-16,21	-15,45	-15,50	-15,51	-15,52	-15,97
raai 13	-15,87	-15,86	-15,58	-15,47	-15,75	-15,86	-15,77	-15,62	-15,60	-15,62	-16,08
raai 12	-15,71	-15,62	-15,57	-15,63	-16,18	-16,24	-15,96	-15,86	-15,74	-15,99	-16,37
raai 11	-16,31	-16,19	-16,13	-16,2	-16,51	-16,56	-16,13	-16,09	-15,69	-16,14	-16,51
raai 10	-15	-14,95	-15,72	-15,38	-16,06	-15,93	-16,16	-16,15	-15,57	-16,02	-16,38
raai 9	-14,6	-14,84	-14,79	-15,13	-15,77	-15,69	-15,68	-15,77	-15,59	-15,75	-16,07
raai 8	-15,35	-15,21	-15,44	-15,62	-15,88	-15,77	-15,73	-15,68	-15,30	-15,81	-16,00
raai 7	-14,73	-14,82	-15	-15,17	-15,54	-15,52	-15,73	-15,76	-14,98	-15,73	-15,85
raai 6	-14,63	-14,64	-14,71	-14,99	-15,27	-15,23	-15,16	-15,43	-15,31	-15,36	-15,48
raai 5	-14,25	-13,9	-14,08	-14,27	-14,57	-14,46	-14,38	-14,60	-14,31	-14,88	-15,07
raai 4	-13,56	-13,29	-13,36	-13,57	-14,09	-14,11	-13,35	-13,75	-13,53	-14,10	-14,44

Tabel I1

Vervolg bijlage I

Hoogteverandering van de top per lodingsinterval (dm)										
	'82-'83	'83-'85	'85-'86	'86-'89	'89-'90	'90-'91	'91-'92	'92-'93	'93-'94	'94-'95
raai 34							-0,03	0,06	0,29	-0,41
raai 33							-0,1	0,33	0,04	-0,31
raai 32							-0,15	0,14	0,33	-0,33
raai 31							-0,13	0,12	0,16	-0,02
raai 30							0,01	0,15	0,1	-0,14
raai 29							0,01	0,25	-0,11	-0,19
raai 28							-0,1	0,13	-0,24	-0,34
raai 27							0,66	-0,47	-0,3	-0,25
raai 26							0,32	-0,22	-0,35	-0,24
raai 25							0,19	0,17	-0,75	-0,1
raai 24							-0,22	0,22	-0,67	-0,23
raai 23							0,2	0,07	-0,13	-0,28
raai 22							-0,1	-0,02	0,16	-0,2
raai 21				-1,51	-0,13	0,83	0,65	-0,06	-0,57	-0,5
raai 20				-1,13	0,31	0,41	0,34	0,06	-0,95	-0,12
raai 19				-0,72	-0,32	1,08	-0,52	0,43	-0,32	-0,25
raai 18				-1,09	-0,19	1,27	-0,38	0,51	-0,51	-0,46
raai 17				-0,07	-0,24	0,94	-0,45	0,22	-0,15	-0,28
raai 16				-0,93	0,38	-0,02	0,02	0,47	-0,44	-0,41
raai 15				-0,89	0,3	0,69	-0,18	0,53	-0,56	-0,3
raai 14	-0,15	0,32	-0,1	-0,73	0,09	0,76	-0,05	-0,01	-0,01	-0,45
raai 13	0,01	0,28	0,11	-0,28	-0,11	0,09	0,15	0,02	-0,02	-0,46
raai 12	0,09	0,05	-0,06	-0,55	-0,06	0,28	0,1	0,12	-0,25	-0,38
raai 11	0,12	0,06	-0,07	-0,31	-0,05	0,43	0,04	0,4	-0,45	-0,37
raai 10	0,05	-0,77	0,34	-0,68	0,13	-0,23	0,01	0,58	-0,45	-0,36
raai 9	-0,24	0,05	-0,34	-0,64	0,08	0,01	-0,09	0,18	-0,16	-0,32
raai 8	0,14	-0,23	-0,18	-0,26	0,11	0,04	0,05	0,38	-0,51	-0,19
raai 7	-0,09	-0,18	-0,17	-0,37	0,02	-0,21	-0,03	0,78	-0,75	-0,12
raai 6	-0,01	-0,07	-0,28	-0,28	0,04	0,07	-0,27	0,12	-0,05	-0,12
raai 5	0,35	-0,18	-0,19	-0,3	0,11	0,08	-0,22	0,29	-0,57	-0,19
raai 4	0,27	-0,07	-0,21	-0,52	-0,02	0,76	-0,4	0,22	-0,57	-0,34

Tabel I2

**Gemiddelde hoogteverandering van de top per lodingsinterval.**

In tabel I3 wordt ook vermeld of er sprake is van een algehele erosie (zakking van de top), aanzanding (verhoging van de top) of dat beide effecten over de langsdoorsnede optreden.

	82-83	83-85	85-86	86-89	89-90
	raai 4-14	raai 4-14	raai 4-14	raai 4-21	raai 4-21
gem. $\Delta h$ (m)	0,05	-0,07	-0,10	-0,63	0,02
stand. afw. (m)	0,17	0,28	0,18	0,37	0,18
commentaar	aanzanding & erosie	aanzanding & erosie	over het algemeen erosie	erosie	beide

Vervolg bijlage I

	90-91	91-92	92-93	93-94	94-95
	raai 4-21	raai 4-34	raai 4-34	raai 4-34	raai 4-34
gem. $\Delta h$ (m)	0,40	-0,02	0,20	-0,28	-0,28
stand.afw. (m)	0,45	0,27	0,24	0,32	0,12
commentaar	aanzanding	aanzanding & erosie	aanzanding & erosie	erosie	erosie

Tabel I3

Het valt op dat de standaard afwijking, welke een maat voor de spreiding is, vrij groot is wat betekent dat in de hoogteveranderingen van de raaien grote verschillen optreden.

Relatieve hoogteverandering (%)										
	'82-'83	'83-'85	'85-'86	'86-'89	'89-'90	'90-'91	'91-'92	'92-'93	'93-'94	'94-'95
raai 34							-1	2	11	-14
raai 33							-3	12	1	-10
raai 32							-5	5	11	-10
raai 31							-5	4	6	-1
raai 30							0	5	3	-4
raai 29							0	7	-3	-5
raai 28							-3	3	-6	-9
raai 27							16	-9	-7	-6
raai 26							7	-4	-7	-5
raai 25							4	3	-13	-2
raai 24							-4	4	-13	-5
raai 23							5	2	-3	-7
raai 22							-3	-1	4	-5
raai 21				-34	-4	28	16	-1	-13	-12
raai 20				-26	9	11	8	1	-20	-3
raai 19				-17	-9	35	-12	11	-7	-6
raai 18				-29	-7	50	-9	14	-13	-13
raai 17				-3	-8	38	-12	7	-5	-9
raai 16				-29	14	-1	1	16	-12	-14
raai 15				-33	14	31	-6	18	-16	-11
raai 14	-8	14	-4	-29	5	42	-2	-0	-0	-18
raai 13	0	13	4	-11	-5	4	6	1	-1	-17
raai 12	4	2	-2	-24	-3	17	5	6	-10	-19
raai 11	7	4	-4	-20	-3	30	2	21	-20	-22
raai 10	2	-27	16	-29	7	-13	1	32	-19	-19
raai 9	-8	2	-12	-25	4	0	-4	8	-7	-15
raai 8	6	-9	-8	-12	6	2	2	16	-21	-9
raai 7	-4	-7	-7	-17	1	-12	-2	47	-31	-7
raai 6	-0	-3	-14	-16	2	4	-14	7	-3	-7
raai 5	19	-9	-9	-16	6	4	-10	15	-26	-11
raai 4	18	-4	-11	-30	-1	52	-17	11	-27	-20

Tabel I4

Vervolg bijlage I

Hoogteverandering in relatie tot de waterdiepte boven de top (%)											
	'82-'83	'83-'85	'85-'86	'86-'89	'89-'90	'90-'91	'91-'92	'92-'93	'93-'94	'94-'95	
raai 34							0,2	-0,3	-1,5	2,2	
raai 33							0,5	-1,7	-0,2	1,7	
raai 32							0,8	-0,7	-1,8	1,8	
raai 31							0,7	-0,6	-0,8	0,1	
raai 30							-0,1	-0,8	-0,5	0,8	
raai 29							-0,1	-1,4	0,6	1,1	
raai 28							0,8	-0,8	1,4	2,0	
raai 27							-4,0	3,0	1,8	1,5	
raai 26							-2,0	1,4	2,2	1,5	
raai 25							-1,3	-1,1	5,1	0,6	
raai 24							1,5	-1,5	4,5	1,5	
raai 23							-1,2	-0,4	0,8	1,8	
raai 22							0,6	0,1	-1,0	1,2	
raai 21				10,1	0,8	-5,0	-4,1	0,4	3,8	3,2	
raai 20				7,7	-2,0	-2,6	-2,3	-0,4	6,5	0,8	
raai 19				4,9	2,1	-6,8	3,5	-2,8	2,2	1,7	
raai 18				7,3	1,2	-7,9	2,6	-3,3	3,5	3,0	
raai 17				0,4	1,5	-5,9	3,0	-1,4	1,0	1,8	
raai 16				6,3	-2,4	0,1	-0,1	-3,1	2,9	2,7	
raai 15				5,8	-1,9	-4,4	1,2	-3,5	3,8	2,0	
raai 14	1,0	-2,0	0,6	4,7	-0,6	-4,7	0,3	0,1	0,1	2,9	
raai 13	-0,1	-1,8	-0,7	1,8	0,7	-0,6	-1,0	-0,1	0,1	2,9	
raai 12	-0,6	-0,3	0,4	3,5	0,4	-1,7	-0,6	-0,8	1,6	2,4	
raai 11	-0,7	-0,4	0,4	1,9	0,3	-2,6	-0,2	-2,5	2,9	2,3	
raai 10	-0,3	5,2	-2,2	4,4	-0,8	1,4	-0,1	-3,6	2,9	2,2	
raai 9	1,6	-0,3	2,3	4,2	-0,5	-0,1	0,6	-1,1	1,0	2,0	
raai 8	-0,9	1,5	1,2	1,7	-0,7	-0,3	-0,3	-2,4	3,3	1,2	
raai 7	0,6	1,2	1,1	2,4	-0,1	1,4	0,2	-4,9	5,0	0,8	
raai 6	0,1	0,5	1,9	1,9	-0,3	-0,5	1,8	-0,8	0,3	0,8	
raai 5	-2,5	1,3	1,3	2,1	-0,8	-0,6	1,5	-2,0	4,0	1,3	
raai 4	-2,0	0,5	1,6	3,8	0,1	-5,4	3,0	-1,6	4,2	2,4	

Tabel I5

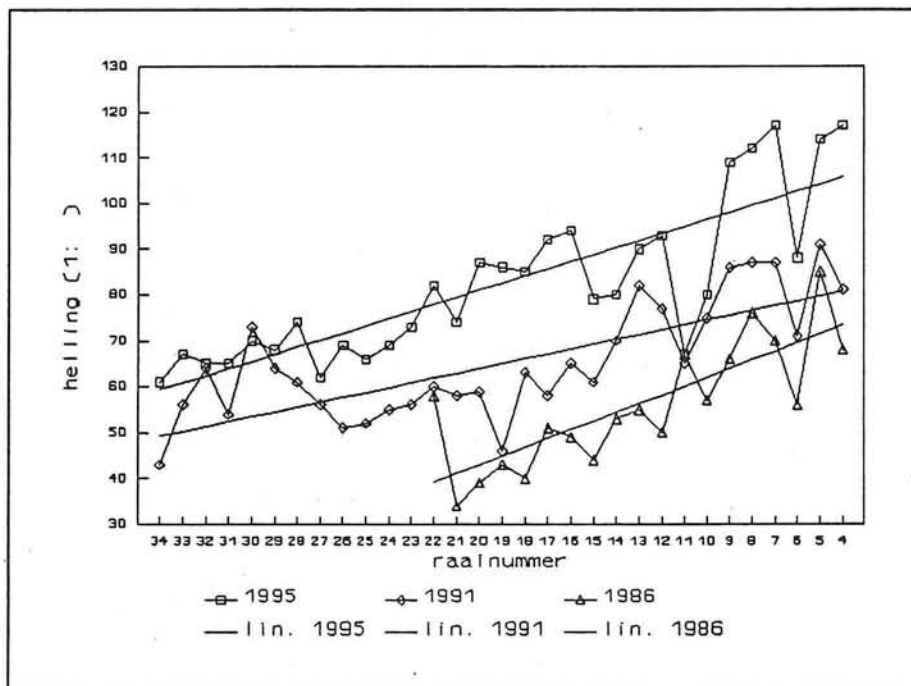
Absolute hoogteverandering van de top per lodingsinterval (dm)											
	'82-'83	'83-'85	'85-'86	'86-'89	'89-'90	'90-'91	'91-'92	'92-'93	'93-'94	'94-'95	
raai 34							0,03	0,06	0,29	0,41	
raai 33							0,1	0,33	0,04	0,31	
raai 32							0,15	0,14	0,33	0,33	
raai 31							0,13	0,12	0,16	0,02	
raai 30							0,01	0,15	0,1	0,14	
raai 29							0,01	0,25	0,11	0,19	
raai 28							0,1	0,13	0,24	0,34	
raai 27							0,66	0,47	0,3	0,25	
raai 26							0,32	0,22	0,35	0,24	
raai 25							0,19	0,17	0,75	0,1	
raai 24							0,22	0,22	0,67	0,23	
raai 23							0,2	0,07	0,13	0,28	
raai 22							0,1	0,02	0,16	0,2	
raai 21				1,51	0,13	0,83	0,65	0,06	0,57	0,5	
raai 20				1,13	0,31	0,41	0,34	0,06	0,95	0,12	
raai 19				0,72	0,32	1,08	0,52	0,43	0,32	0,25	
raai 18				1,09	0,19	1,27	0,38	0,51	0,51	0,46	
raai 17				0,07	0,24	0,94	0,45	0,22	0,15	0,28	
raai 16				0,93	0,38	0,02	0,02	0,47	0,44	0,41	
raai 15				0,89	0,3	0,69	0,18	0,53	0,56	0,3	
raai 14	0,15	0,32	0,1	0,73	0,09	0,76	0,05	0,01	0,01	0,45	
raai 13	0,01	0,28	0,11	0,28	0,11	0,09	0,15	0,02	0,02	0,46	
raai 12	0,09	0,05	0,06	0,55	0,06	0,28	0,1	0,12	0,25	0,38	
raai 11	0,12	0,06	0,07	0,31	0,05	0,43	0,04	0,4	0,45	0,37	
raai 10	0,05	0,77	0,34	0,68	0,13	0,23	0,01	0,58	0,45	0,36	
raai 9	0,24	0,05	0,34	0,64	0,08	0,01	0,09	0,18	0,16	0,32	
raai 8	0,14	0,23	0,18	0,26	0,11	0,04	0,05	0,38	0,51	0,19	
raai 7	0,09	0,18	0,17	0,37	0,02	0,21	0,03	0,78	0,75	0,12	
raai 6	0,01	0,07	0,28	0,28	0,04	0,07	0,27	0,12	0,05	0,12	
raai 5	0,35	0,18	0,19	0,3	0,11	0,08	0,22	0,29	0,57	0,19	
raai 4	0,27	0,07	0,21	0,52	0,02	0,76	0,4	0,22	0,57	0,34	

Tabel I6

Bijlage J1 Lineaire benadering van de helling van de zanddam aan de zuidzijde.

Tabel van de hellingen aan de zuidzijde van de zanddam per loding per raai en weergave van de lineair benaderde hellingen.

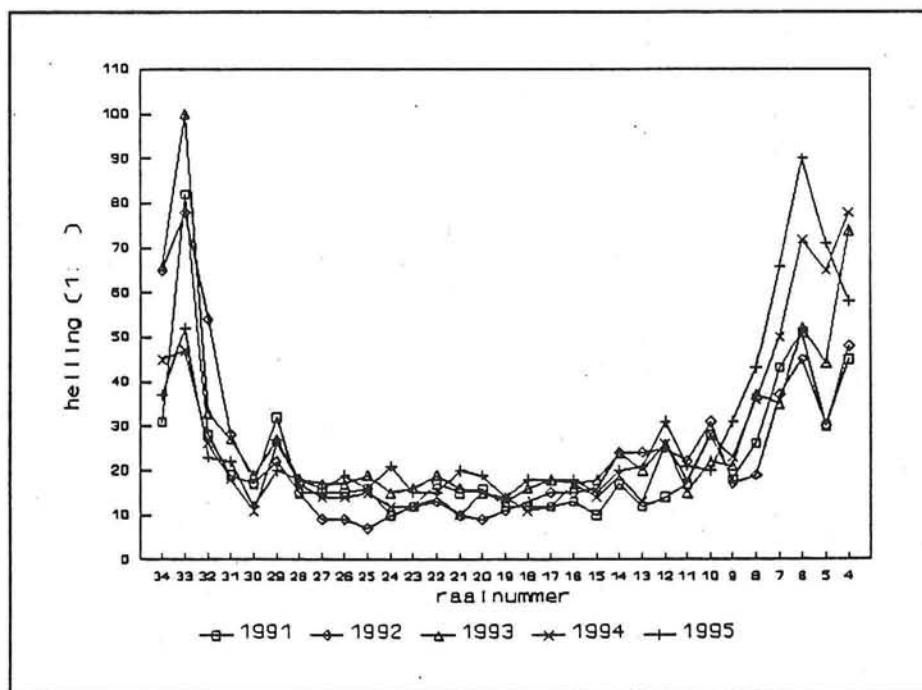
Helling van de zanddam aan de zuidzijde											
	1982	1983	1985	1986	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995
34							43	55	53	55	61
33							56	58	62	60	67
32							64	57	53	66	65
31							54		52	64	65
30							73	64	62	80	70
29							64	67	67	69	68
28							61	65	60	63	74
27							56	60	50	58	62
26					54	45	51	62	58	59	69
25					45	55	52	55	58	58	66
24					44	61	55	51	61	61	69
23					56	50	56	63	61	59	73
22				58	56	55	60	70	56	65	82
21				34	52	48	58	67	65	66	74
20				39	50	60	59	63	68	68	87
19				43	66	59	46	57	61	60	86
18				40	49	50	63	53	58	69	85
17				51	55	61	58	59	59	71	92
16				49	53	68	65	60	69	73	94
15				44	70	45	61	73	70	80	79
14	34	45	42	53	64	88	70	72	71	74	80
13	77	51	56	55	89	84	82	85	56	85	90
12	43	47	49	50	73	69	77	74	63	79	93
11	35	65	62	67	78	83	65	74	69	72	67
10	47	48	61	57	85	81	75	98	77	100	80
9	37	39	60	66	83	61	86	107	83	87	109
8	72	50	83	76	93	89	87	102	84	102	112
7	42	53	73	70	77	86	87	85	71	93	117
6	65	42	52	56	77	65	71	103	91	101	88
5	80	41	78	85	111	74	91	125	94	128	114
4	76	78	86	68	91	111	81	96	89	113	117



Bijlage J2 Verloop van de helling aan de noordzijde voor 1991 tot en met 1995.

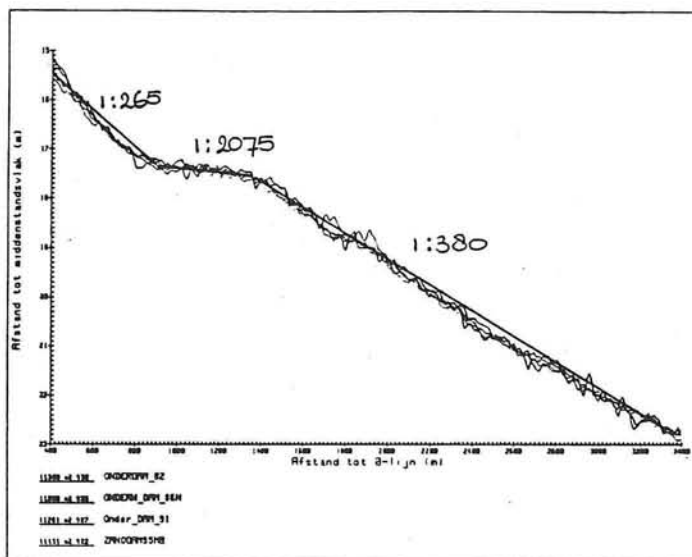
Tabel van de hellingen aan de noordzijde van de zanddam per loding per raai en weergave verloop van de hellingen in 1991, 1992, 1993, 1994 en 1995:

Helling van de zanddam aan de noordzijde											
	1982	1983	1985	1986	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995
34							31	65	66	45	37
33							82	78	100	47	52
32							28	54	33	26	23
31							19	28	27	18	22
30							17	17	19	11	12
29					41	31	32	22	27	26	20
28					46	44	15	15	18	17	18
27					55	46	15	9	17	14	16
26					23	26	15	9	17	14	19
25					26	41	18	7	19	15	16
24					38	61	10	10	15	12	21
23					63	39	12	12	18	12	15
22				35	45	42	17	13	19	14	15
21				20	55	50	15	10	16	10	20
20				26	31	24	16	9	15	15	19
19				14	20	39	12	11	13	14	14
18				22	36	49	12	13	16	11	18
17				48	24	43	12	15	18	12	18
16				20	48	26	13	15	17	17	18
15				24	61	54	10	16	18	14	15
14	26	45	47	28	85	55	17	24	24	19	20
13	49	44	94	37	28	44	12	24	20	13	21
12	32	29	20	32	60	60	14	25	26	28	31
11	69	50	42	41	59	52	17	22	15	18	21
10	22	27	38	30	30	37	28	31	22	28	20
9	31	28	29	28	45	52	18	17	21	23	31
8	45	44	52	42	43	43	28	19	37	36	43
7	52	42	92	45	53	79	43	37	35	50	66
6	65	47	57	43	64	55	51	45	52	72	90
5	81	59	57	68	60	59	30	30	44	65	71
4	95	67	68	68	108	94	45	48	74	78	58

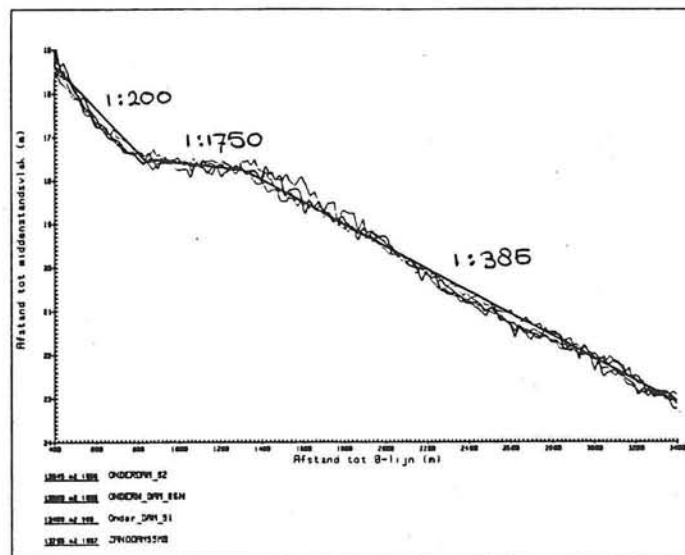


**Bijlage J3 Hellingverloop in de richting evenwijdig aan de as van de zanddam.**

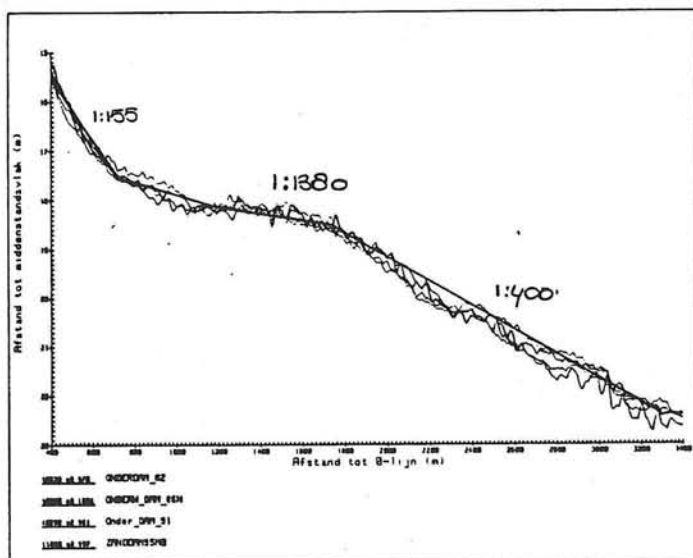
In de onderstaande figuren zijn een aantal doorsneden in de richting evenwijdig aan de as van de zanddam gegeven. De hellingen zijn in de figuren vermeld. Op de volgende bladzijde zijn twee doorsneden weergegeven die ter plaatse van het uiteinde van de zanddam zijn genomen.



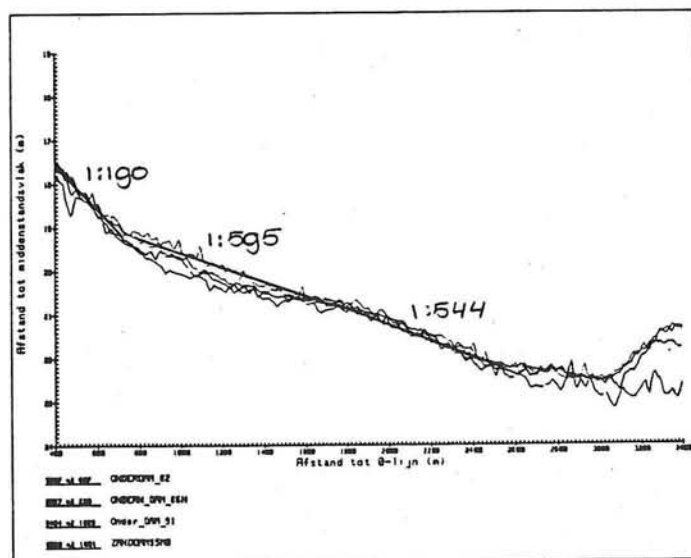
LANGSDOORSNEDE 200 M UIT DE 0-LIJN



LANGSDOORSNEDE 600 M UIT DE 0-LIJN



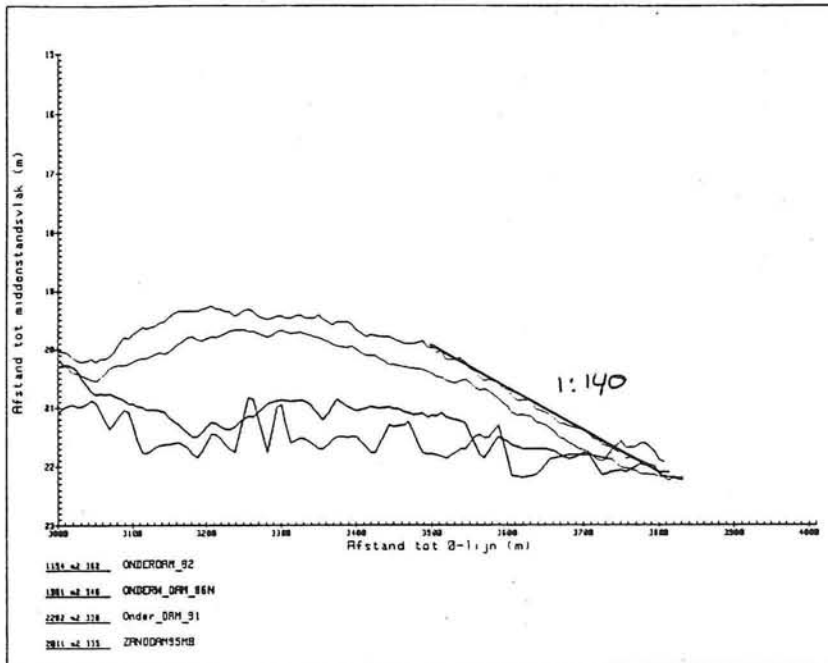
LANGSDOORSNEDE 900 M UIT DE 0-LIJN



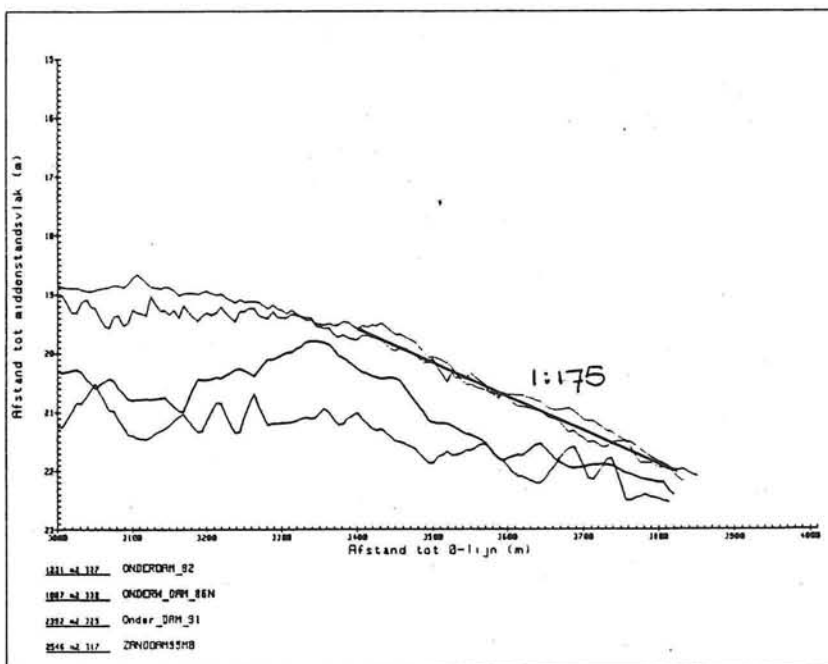
LANGSDOORSNEDE 2100 M UIT DE 0-LIJN



Vervolg bijlage J3



1100 M UIT DE 0-LIJN (HELLING 1:140)



1200 M UIT 0-LIJN (HELLING 1:175)

Bijlage K1 Kuberingen van alleen de zanddam en van de raaien over 1800 meter.

Kubering van de dwarsdoorsnede over 1800 m (incl. correctie van +2 dm op Single-beam data) (m <sup>3</sup> /m)									
	1982	1983	1985	1986	1991	1992	1993	1994	1995
raai 34					3846	3904	3973	4123	3900
raai 33					4160	4229	4255	4398	4185
raai 32					4284	4346	4341	4543	4322
raai 31					4190	4249	4260	4453	4231
raai 30					4311	4376	4506	4623	4421
raai 29					3123	3181	3294	3392	3180
raai 28					3543	3584	3660	3793	3583
raai 27					3824	3873	3954	4073	3891
raai 26					4266	4308	4399	4502	4301
raai 25					4728	4784	4871	4945	4755
raai 24					4990	5042	5112	5197	5028
raai 23					3269	3337	3423	3548	3349
raai 22					3575	3630	3743	3850	3646
raai 21				4614	4116	4164	4295	4354	4117
raai 20				3472	2922	2963	3081	3110	2912
raai 19				3812	3339	3375	3527	3573	3384
raai 18				4185	3756	3775	3923	3969	3786
raai 17				4521	4139	4168	4278	4344	4163
raai 16				4851	4454	4470	4614	4644	4478
raai 15				5078	4712	4726	4852	4880	4705
raai 14	5046	5249	5245	5202	4841	4843	4976	5041	4860
raai 13	5179	5382	5257	5317	4929	4967	5086	5118	4950
raai 12	5163	5341	5266	5284	4959	4966	5106	5172	5030
raai 11	5180	5299	5277	5222	4934	4982	5128	5193	5088
raai 10	5297	5585	5476	5590	5099	5142	5335	5351	5272
raai 9	3718	3825	4087	4002	3588	3603	3802	3848	3766
raai 8	4129	4248	4319	4112	3887	3878	4150	4146	4086
raai 7	4942	4949	5165	4829	4500	4503	4798	4712	4648
raai 6	4139	4165	4314	3958	3610	3584	3927	3819	3732
raai 5	5314	5470	5566	5242	4728	4708	5096	4874	4751
raai 4	5047	5189	5128	4852	4267	4224	4581	4327	4192

Tabel K1 Kuberingen van de dwarsdoorsnede over 1800 m.

Kuberingen van de damdwarsdoorsnede (incl. correctie van + 2 dm op single-beam data) (m <sup>3</sup> /m)									
	1982	1983	1985	1986	1991	1992	1993	1994	1995
raai 34					1104	1115	1121	1182	1063
raai 33					1218	1230	1241	1286	1182
raai 32					1244	1246	1236	1312	1202
raai 31					1140	1141	1131	1213	1107
raai 30					724	732	790	825	718
raai 29					1143	1143	1197	1210	1097
raai 28					1301	1295	1316	1355	1242
raai 27					1354	1347	1368	1416	1312
raai 26					1556	1564	1597	1606	1495
raai 25					1246	1250	1283	1276	1148
raai 24					1313	1318	1300	1326	1211
raai 23					1110	1130	1140	1207	1088
raai 22					1104	1120	1157	1188	1079
raai 21				1342	1202	1218	1256	1263	1144
raai 20				1080	935	942	969	959	845
raai 19				973	901	916	938	955	868
raai 18				996	908	928	951	962	876
raai 17				988	950	957	976	993	904
raai 16				654	571	584	610	612	551
raai 15				689	617	628	635	643	577
raai 14	610	633	683	685	629	617	646	651	584
raai 13	637	667	676	678	628	623	635	648	579
raai 12	607	640	644	633	568	580	587	599	535
raai 11	589	599	577	579	505	518	542	546	507
raai 10	779	865	777	820	648	667	721	717	638
raai 9	855	876	916	890	764	764	808	814	753
raai 8	901	914	913	879	793	810	872	857	812
raai 7	1288	1269	1344	1224	1111	1110	1236	1179	1114
raai 6	985	997	1029	914	778	760	887	860	787
raai 5	1419	1486	1480	1360	1154	1141	1308	1228	1154
raai 4	1365	1426	1355	1267	1056	1028	1178	1075	988

Tabel K2 Kuberingen van de zanddam.

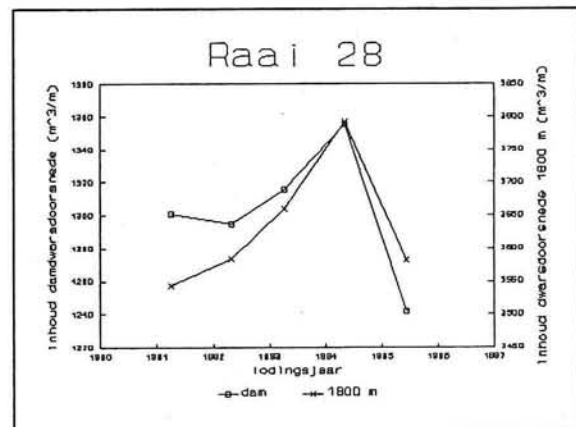
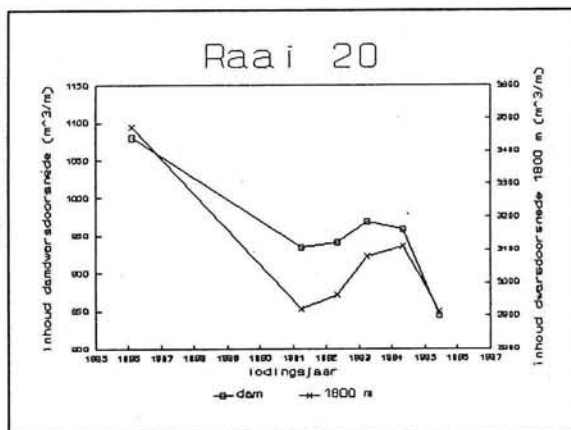
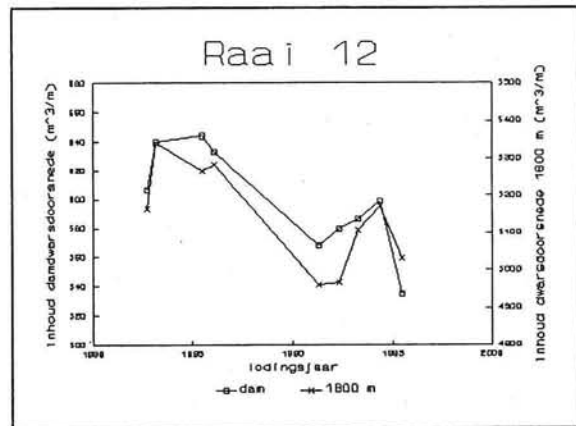
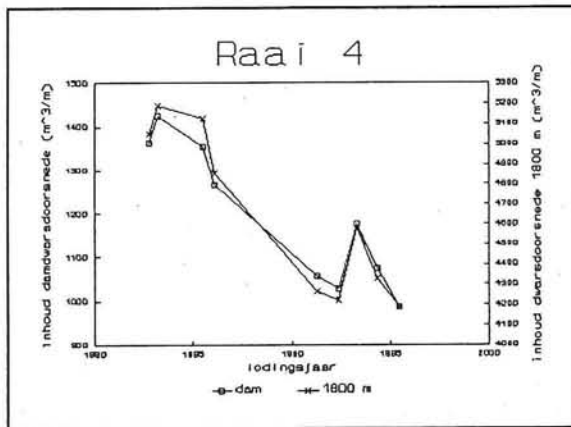
Vervolg bijlage K1

Regressie-analyse toegepast op de kuberingen				
	DAM DSN		1800 M DSN	
	$\rho^2$	r.c.	$\rho^2$	r.c.
raai 34			0,22	31
raai 33			0,13	21
raai 32			0,17	26
raai 31			0,19	27
raai 30	0,06	7	0,35	44
raai 29	0,01	-3	0,21	30
raai 28	0,05	-6	0,19	27
raai 27	0,006	-2	0,29	31
raai 26	0,09	-8	0,17	25
raai 25	0,26	-17	0,13	20
raai 24	0,44	-19	0,19	21
raai 23	0,01	3	0,29	35
raai 22	0,002	1	0,26	34
raai 21	0,58	-15	0,51	-42
raai 20	0,75	-20	0,62	-50
raai 19	0,36	-7	0,45	-36
raai 18	0,44	-9	0,45	-33
raai 17	0,22	-5	0,44	-30
raai 16	0,51	-8	0,45	-31
raai 15	0,65	-9	0,5	-31
raai 14	0,1	-2	0,55	-25
raai 13	0,46	-4	0,62	-26
raai 12	0,63	-6	0,48	-20
raai 11	0,76	-6	0,36	-15
raai 10	0,71	-13	0,33	-2
raai 9	0,65	-10	0,13	-11
raai 8	0,58	-7	0,22	-14
raai 7	0,57	-13	0,51	-31
raai 6	0,68	-17	0,59	-40
raai 5	0,74	-24	0,71	-56
raai 4	0,86	-31	0,85	-76

Tabel K3

**Bijlage K2 Verband tussen de kuberingen van de zanddam en de dwarsdoorsnede over 1800 m.**

Om te zien of er een verband bestaat tussen de kuberingen van de zanddam en de doorsnede over 1800 m, zijn de kuberingen van beide uitgezet tegen de tijd. Om te laten zien dat er een verband over de gehele langsdoorsnede bestaat zijn de grafieken van de raaien 4, 12, 20 en 28 gegeven.



**Vervolg bijlage K2**

In tabel K4 zijn de gemiddelde jaarlijkse veranderingen van de kuberingen vermeld. Deze gemiddelde jaarlijkse veranderingen van de kuberingen zijn ontleend aan de rechte benaderende lijnen per raai, die met behulp van lineaire regressie zijn bepaald.

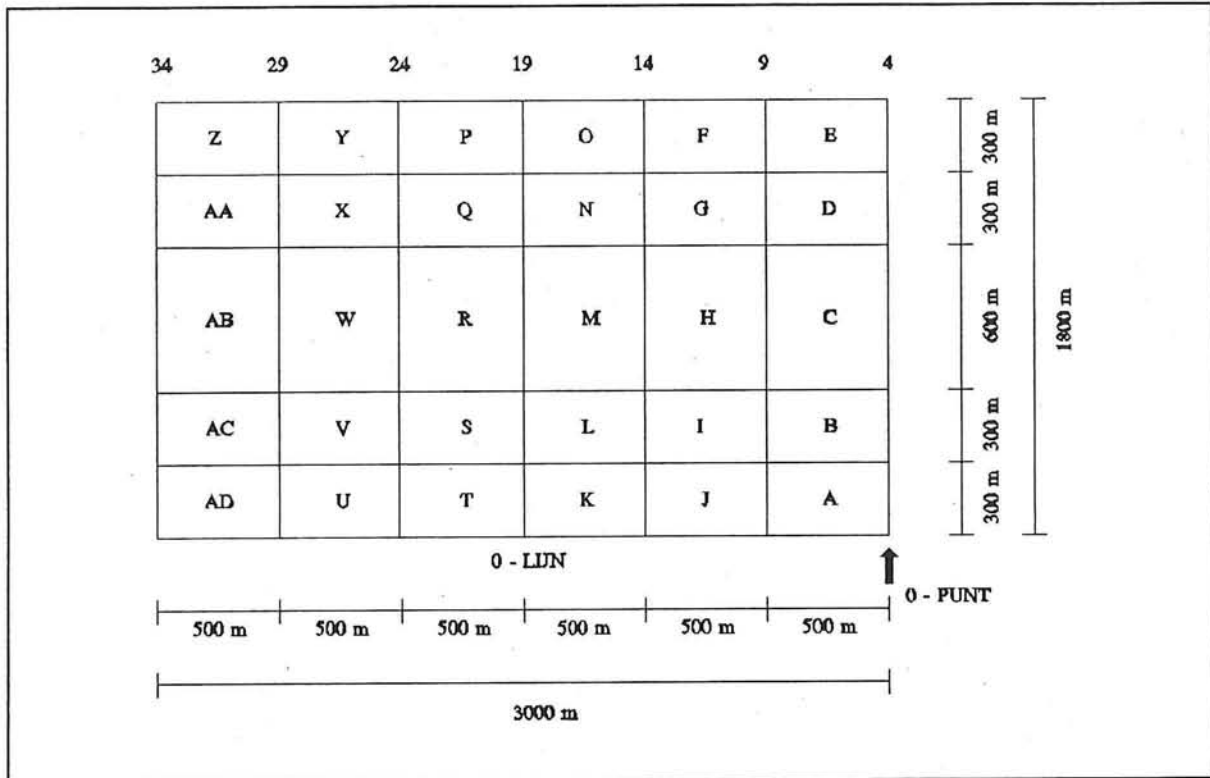
raainummer	breedte waarover gekubeerd is (m)	gem. jaarlijkse hoogteveranderingen van de zanddam (cm)	gem. jaarlijkse hoogteveranderingen dsn. 1800 m (cm)
4	600	5,2	4,2
5	600	4,0	3,1
6	600	2,8	2,2
7	600	2,2	1,7
8	450	1,6	0,8
9	450	2,2	0,6
10	450	2,9	0,1
11	350	1,7	0,8
12	350	1,7	1,1
13	350	1,1	1,4
14	350	0,6	1,4
15	350	2,6	1,7
16	350	2,3	1,7
17	400	1,3	1,7
18	400	2,3	1,8
19	400	1,8	2,0
20	550	3,6	2,8
21	550	2,7	2,3

Tabel K4

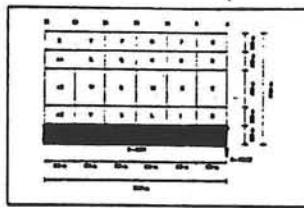
Uit de tabel is op te maken dat de gemiddelde veranderingen in de damdoorsnede groter zijn dan die in de doorsnede over 1800 m (op 4 van de 17 raaien na). Dit betekent dat uit de hele raai zand verdwijnt en dat de zanddam onafhankelijk nog een extra hoeveelheid zand verliest.

**Bijlage K3 Vakindeling van het lodingsgebied.**

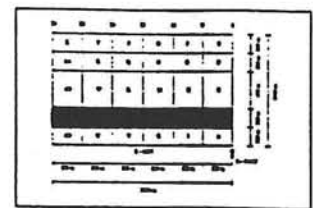
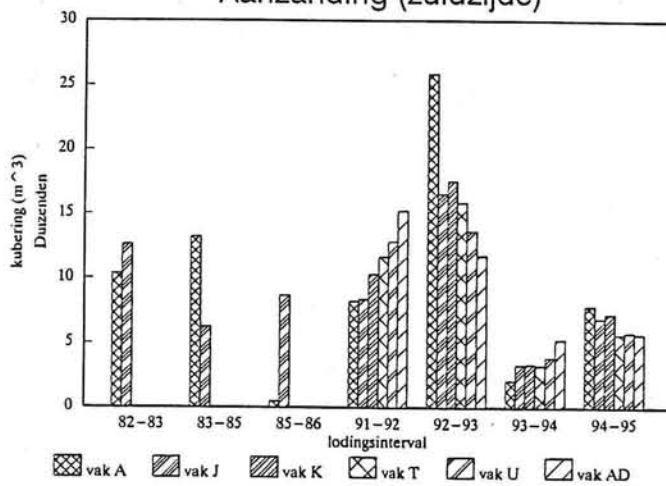
Het lodingsgebied wordt opgedeeld in 30 vakken, waarvan 24 vakken bij benadering van dezelfde grootte zijn. De overige 6 vakken hebben een dubbel zo groot oppervlak, wat veroorzaakt wordt door de zanddam die in dat gedeelte gesitueerd is.



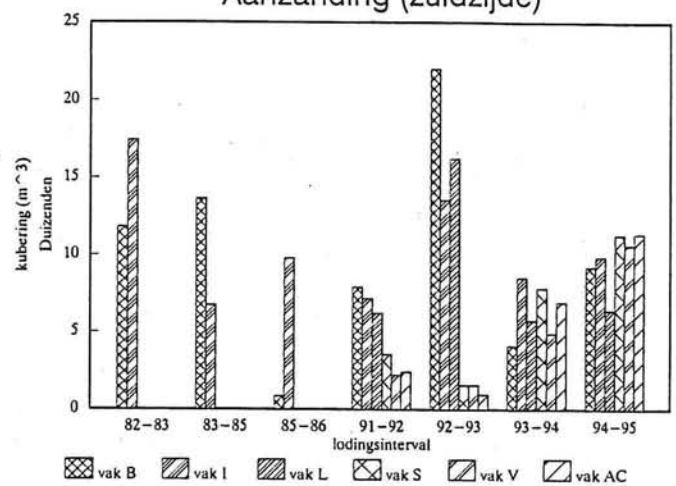
Bijlage K4 Vakken evenwijdig aan de zanddam.



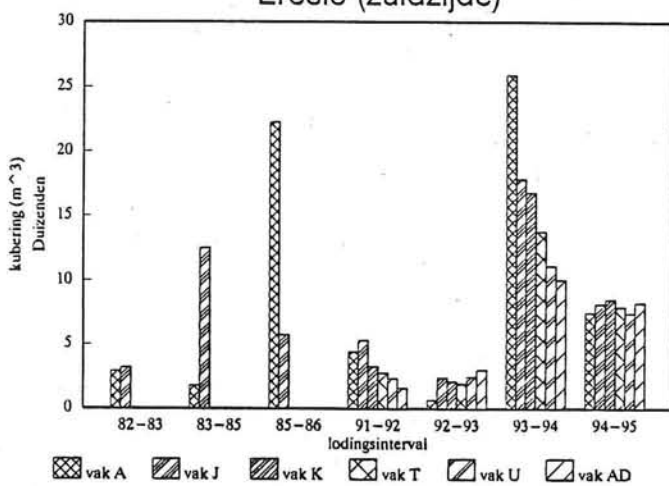
Aanzanding (zuidzijde)



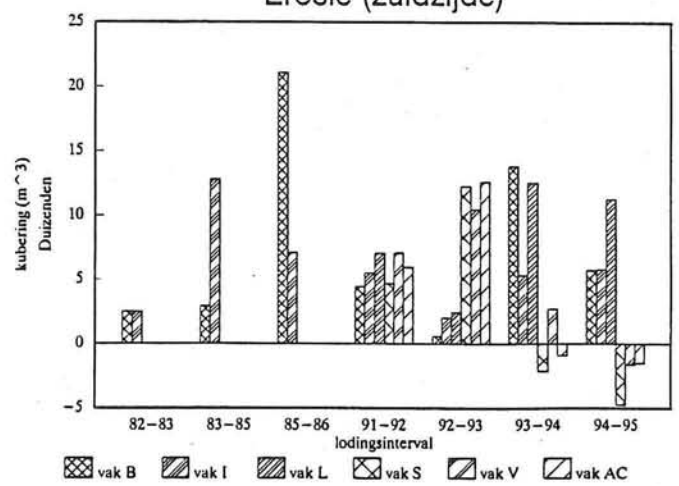
Aanzanding (zuidzijde)



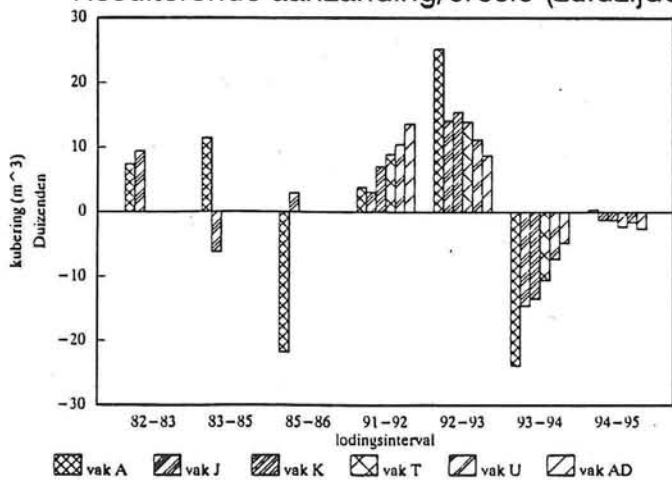
Erosie (zuidzijde)



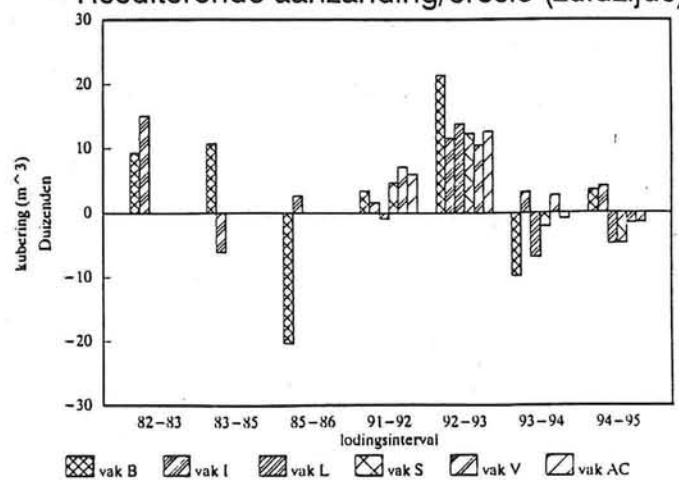
Erosie (zuidzijde)



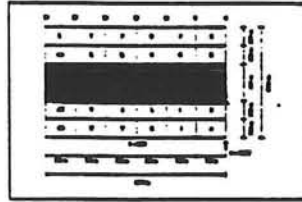
Resulterende aanzanding/erosie (zuidzijde)



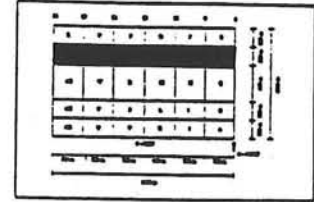
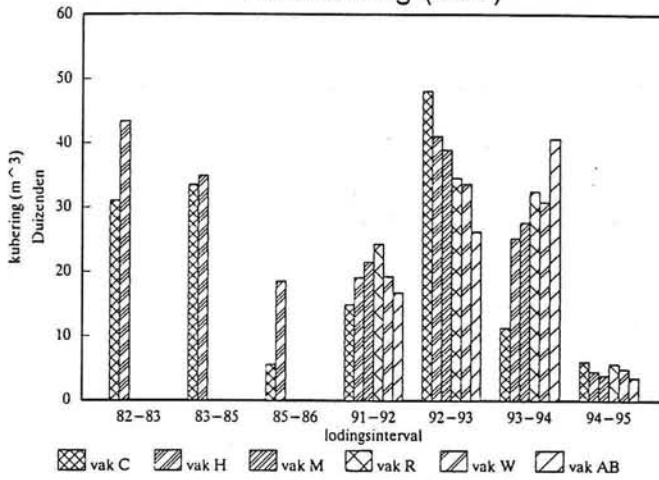
Resulterende aanzanding/erosie (zuidzijde)



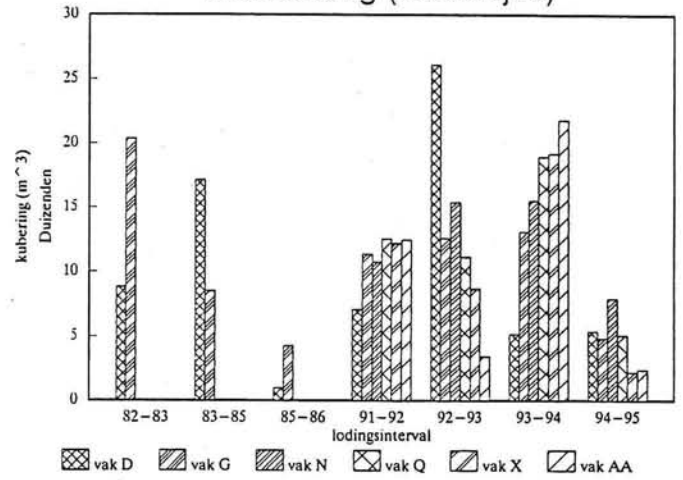
Vervolg bijlage K4



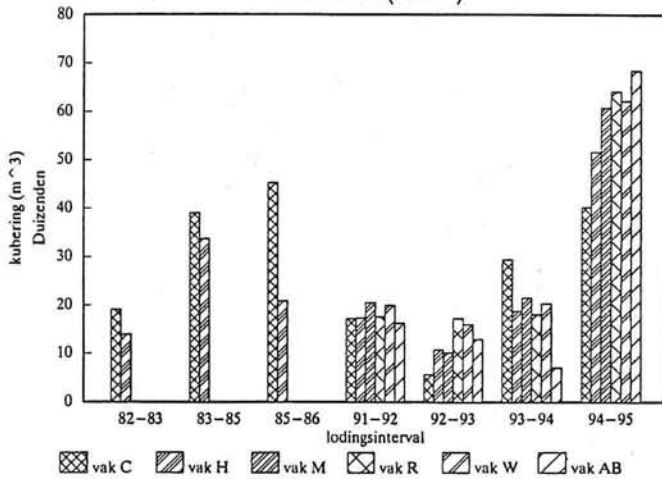
Aanzanding (dam)



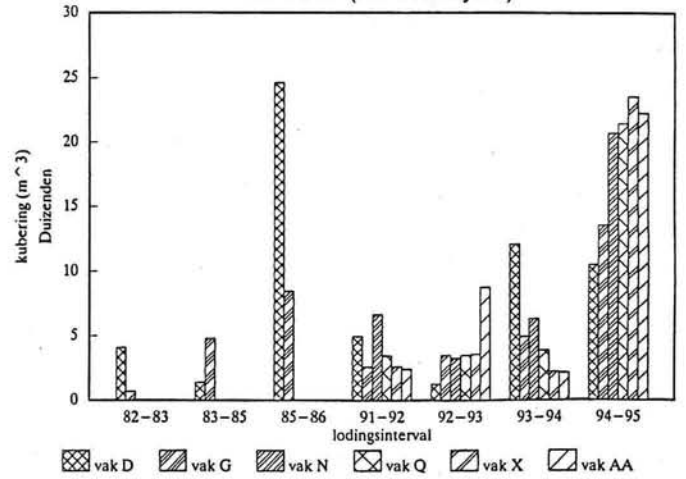
Aanzanding (noordzijde)



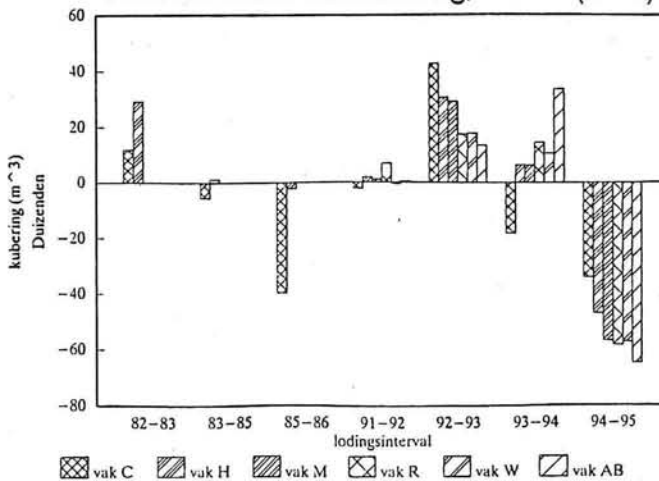
Erosie (dam)



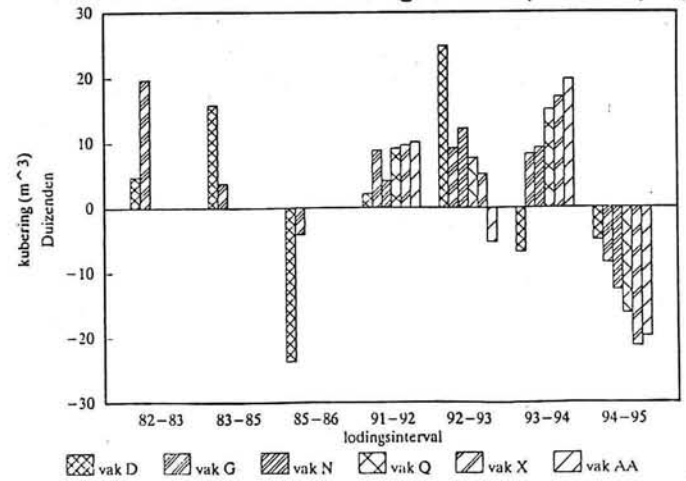
Erosie (noordzijde)



Resulterende aanzanding/erosie (dam)

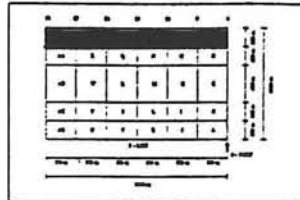


Resulterende aanzanding/erosie (noordzijde)

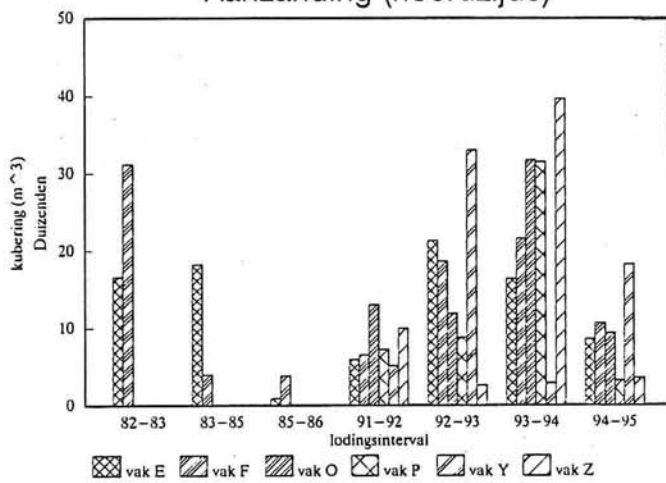




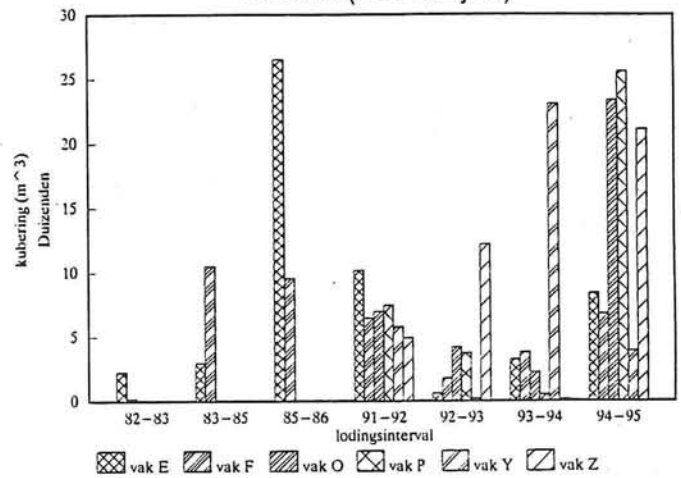
Vervolg bijlage K4



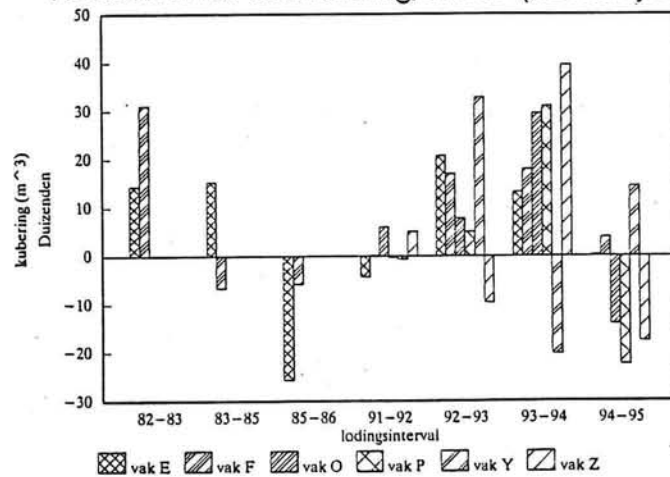
Aanzanding (noordzijde)



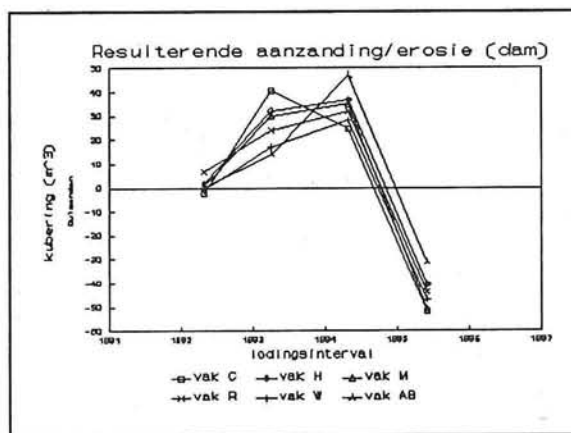
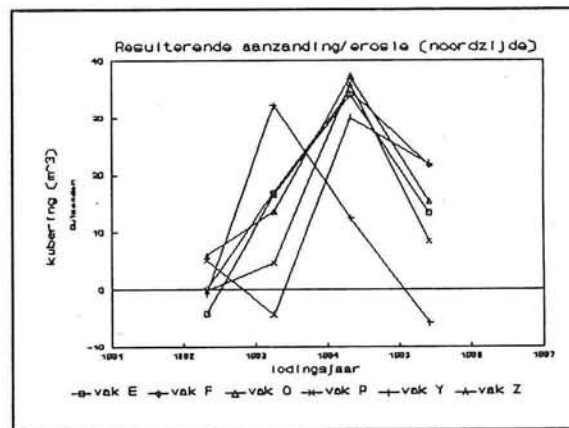
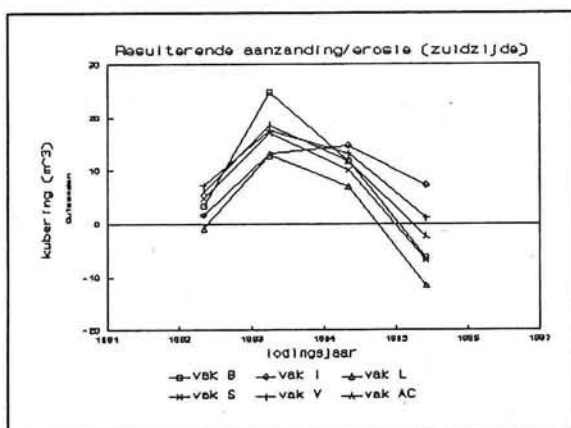
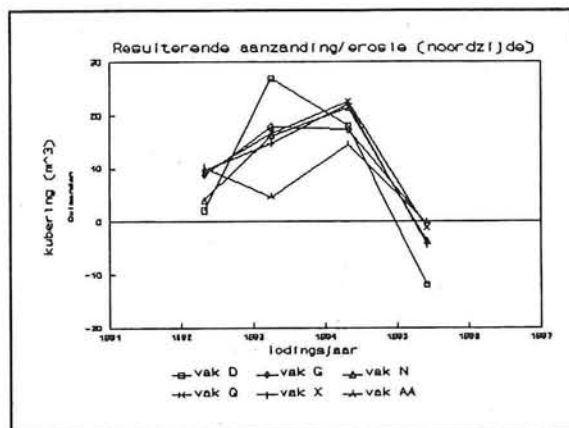
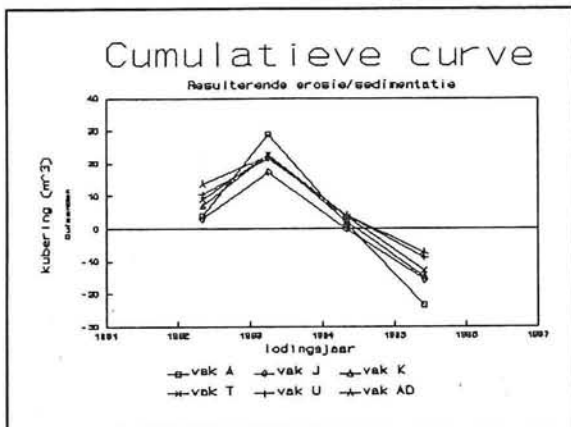
Erosie (noordzijde)



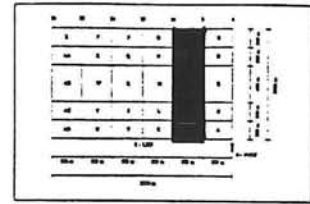
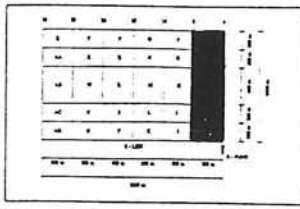
Resulterende aanzanding/erosie (noordzijde)



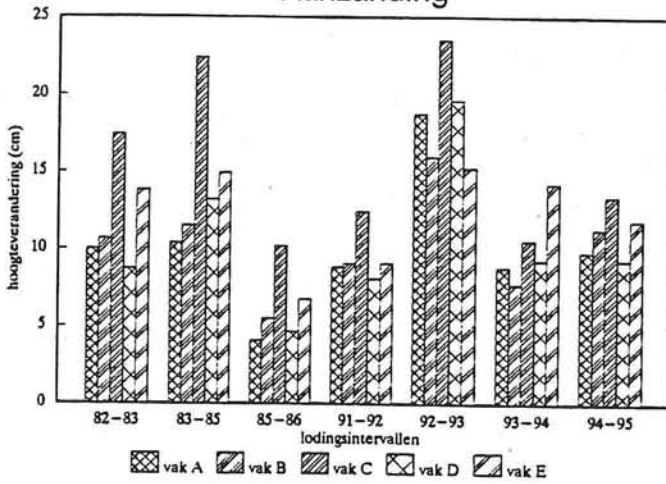
Vervolg bijlage K4



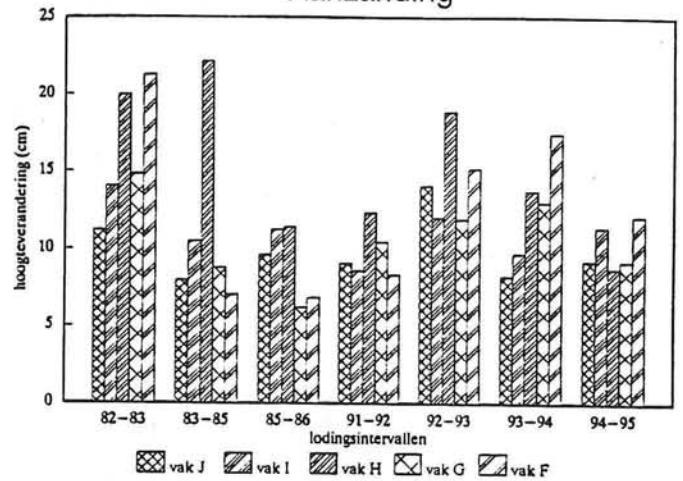
Bijlage K5 Vakken loodrecht op de zanddam.



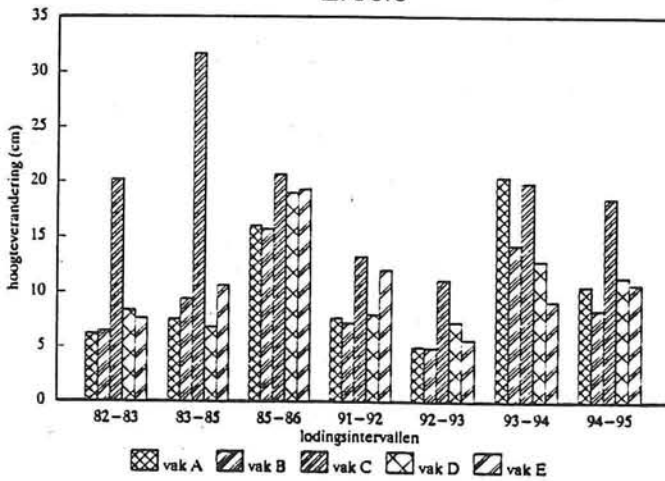
Aanzanding



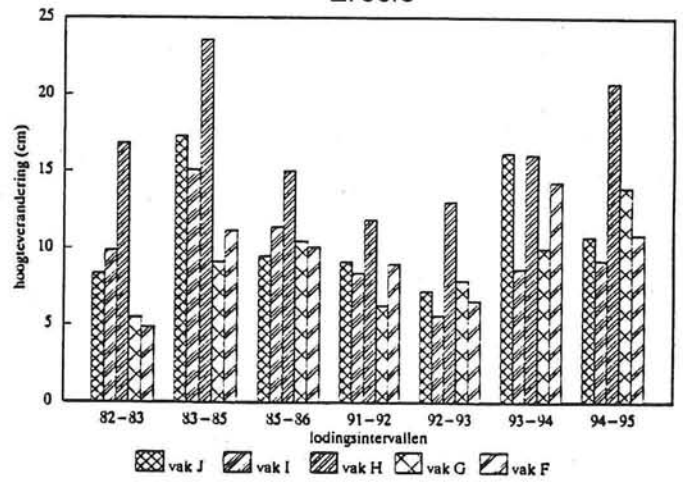
Aanzanding



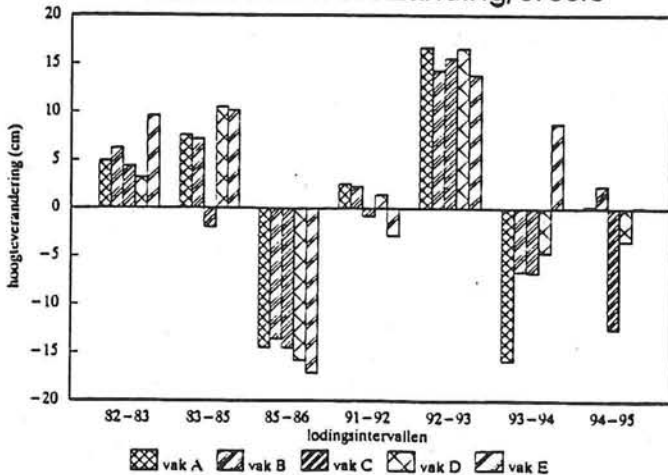
Erosie



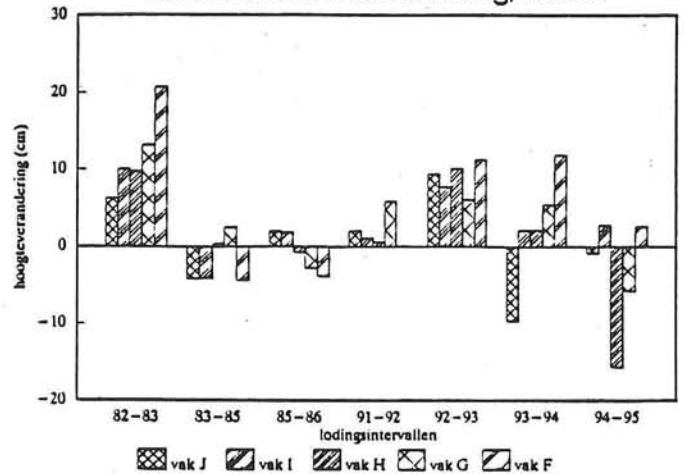
Erosie



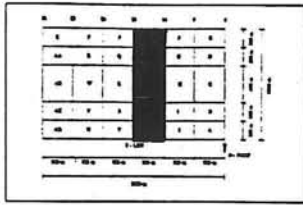
Resulterende aanzanding/erosie



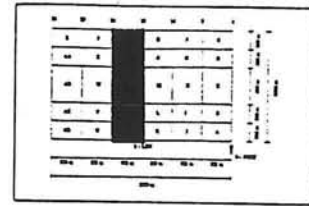
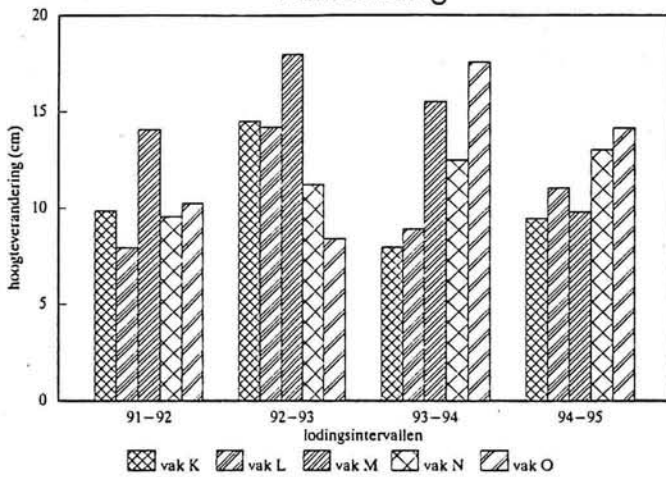
Resulterende aanzanding/erosie



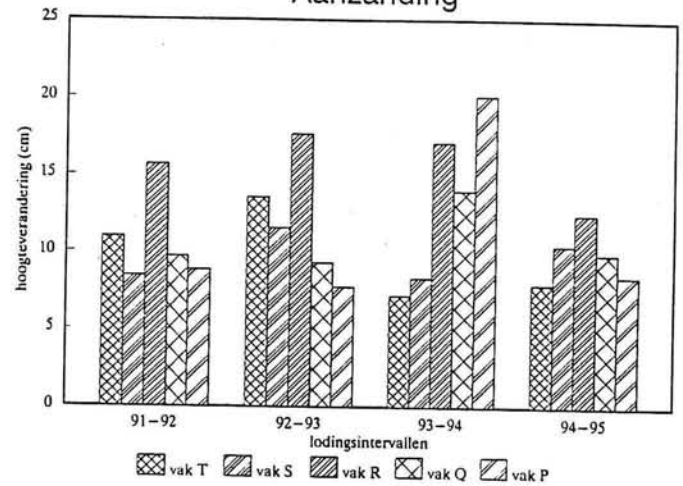
Vervolg bijlage K5



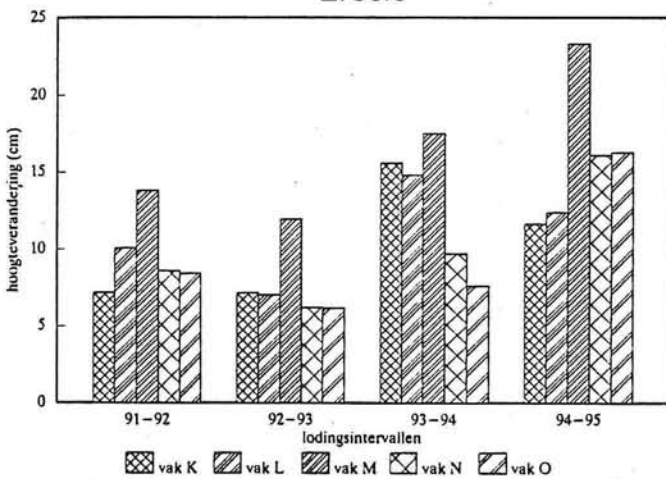
Aanzanding



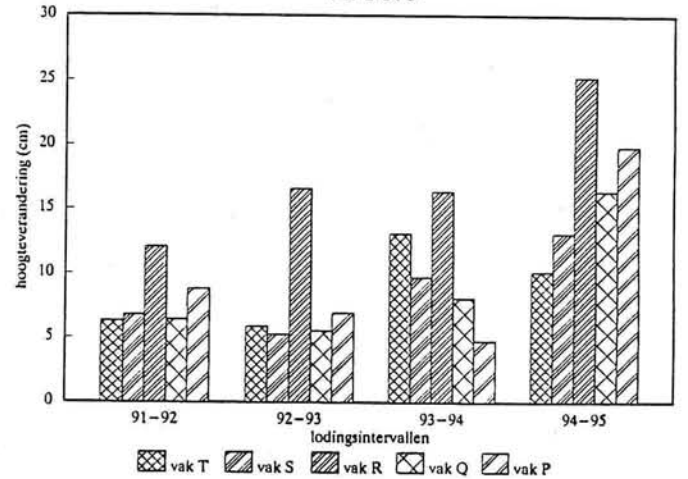
Aanzanding



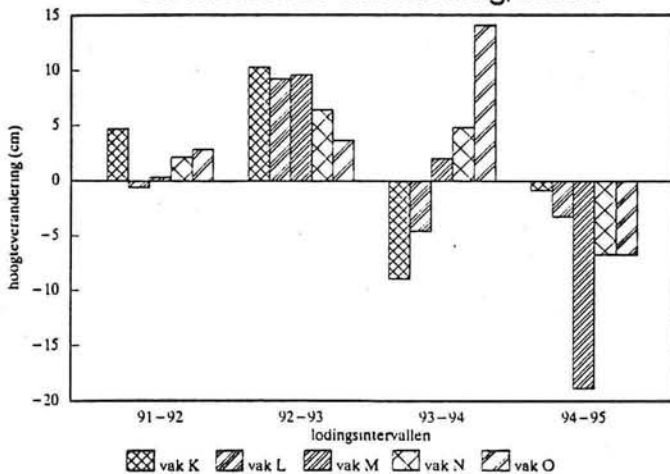
Erosie



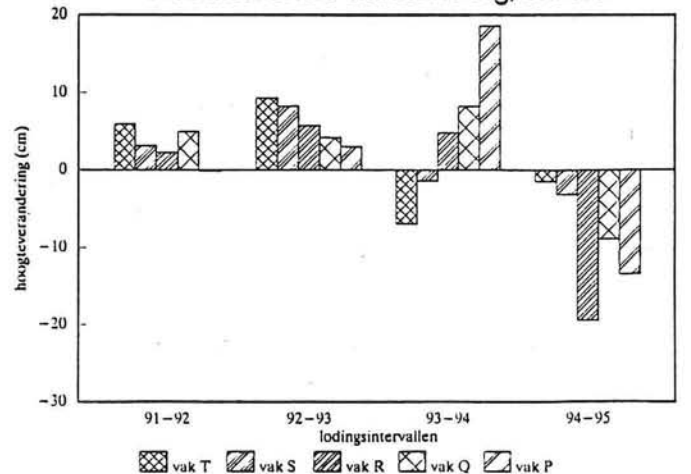
Erosie



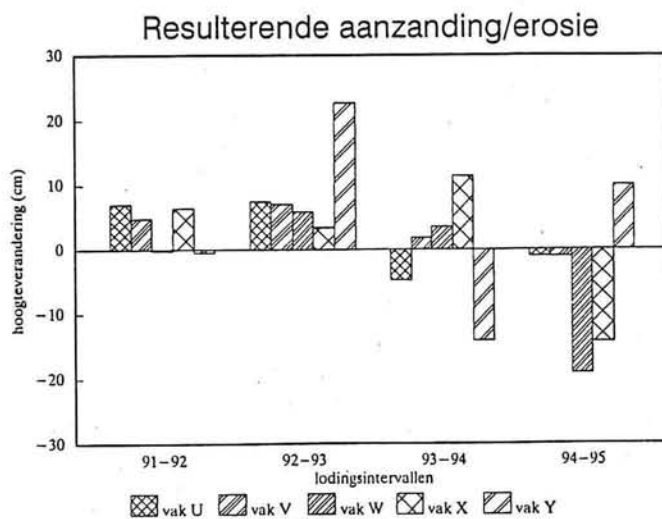
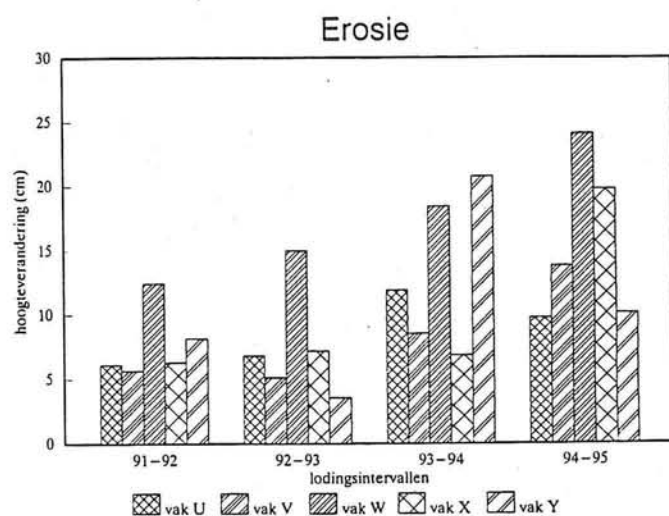
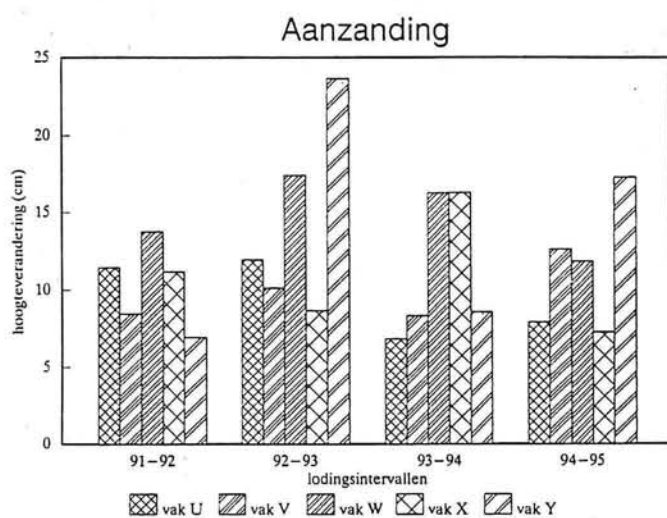
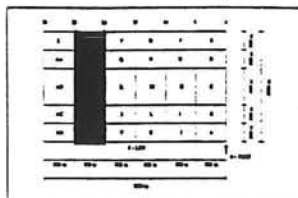
Resulterende aanzanding/erosie



Resulterende aanzanding/erosie



**Vervolg bijlage K5**



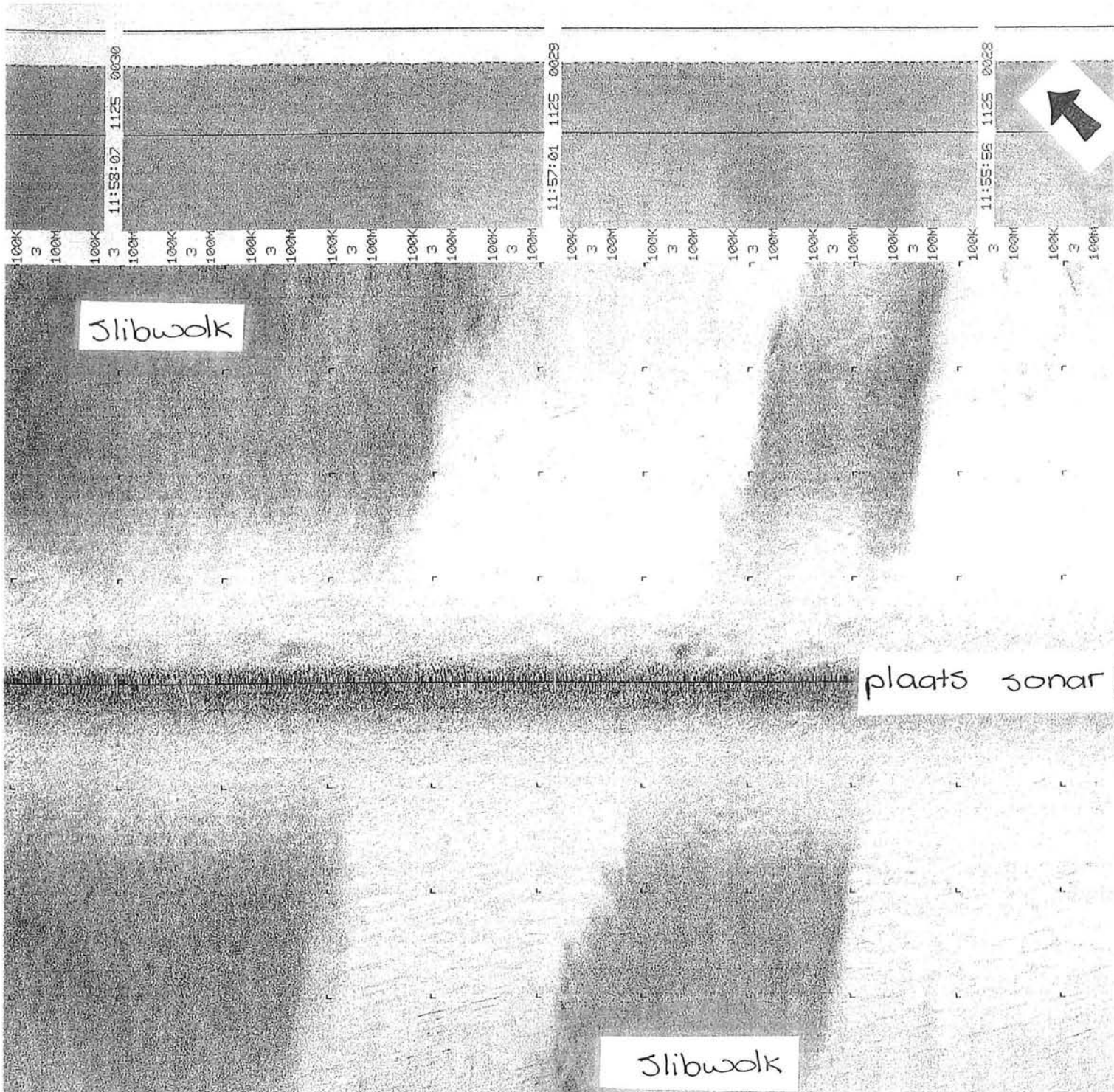
**Bijlage L Side-scan sonar opnames.**

In de figuren die in deze bijlage zijn opgenomen zijn de slibwolken duidelijk zichtbaar. De streep die in het midden van de figuren loopt, geeft de plaats van de sonar (vis) aan. Aan beide kanten heeft de sonar een bereik van 100 m. Het bovenste gedeelte van de figuren (aangegeven door een pijl) geven de waterkolom weer. Wanneer er verstoringen in de waterkolom voorkomen, worden hier grijze vlekken zichtbaar en loopt de "vis" uit de baan. Dit is de gestippelde lijn.

In figuur L1 zijn twee slibwolken te zien. Dit zijn de donkere vlekken. In deze figuur wordt ook duidelijk dat de slibwolken allerlei afmetingen kunnen hebben. In het gedeelte van de figuur waar de waterkolom wordt weergegeven, zijn de slibwolken niet goed zichtbaar. Dit kan te maken hebben met getijstroomsnelheden die op dat moment voorkomen en de mate van de hoeveelheid slib (dichtheid van de slibwolken).

In figuur L2 zijn de ribbels die op de bodem voorkomen redelijk goed waar te nemen door de slibwolken heen. In het gedeelte van de figuur waar de waterkolom wordt weergegeven is de aanwezigheid van slibdeeltjes in de waterkolom goed te zien. Ook blijkt dat de "vis" uit de baan is geweest (zie het verloop van de gestippelde lijn).

Vervolg bijlage L



Figuur L1





**Bijlage M Formules met betrekking tot golfgedreven transport.**

Voor de snelheidsamplitude aan de bodem geldt:

$$u = \frac{\omega * H}{2 \sinh kh}$$

Voor de berekening wordt gebruik gemaakt van de dispersierelatie:

$$\omega^2 = g * k * \tanh kh$$

Met  $T = 2 * \pi / \omega$  en  $L = 2 * \pi / k$  kan de dispersierelatie tot de volgende formule worden herschreven:

$$\frac{h}{L_0} = \frac{h}{L} * \tanh kh$$

Met behulp van onderstaande tabel en de eerste genoemde formule kunnen de snelheden aan de bodem als gevolg van de orbitaalbeweging van de golven worden berekend. Wel is de volgende uitdrukking nodig om de  $\sinh kh$  te bepalen:

$$L_0 = \frac{g * T^2}{2 * \pi}$$

Tabel met grenscondities geldend voor raai 4. De gebruikte waterdieptes zijn die van 1995:

Zuidzijde => 15,40 m  
Top => 14,44 m  
Noordzijde => 15,80 m

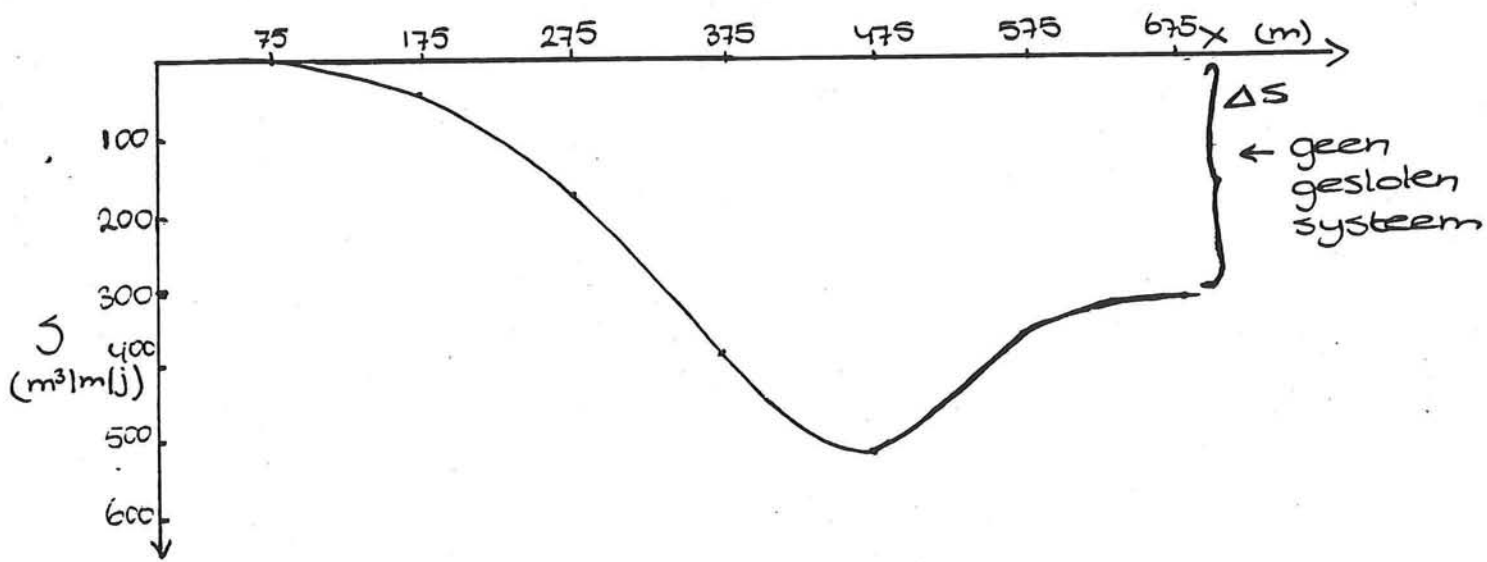
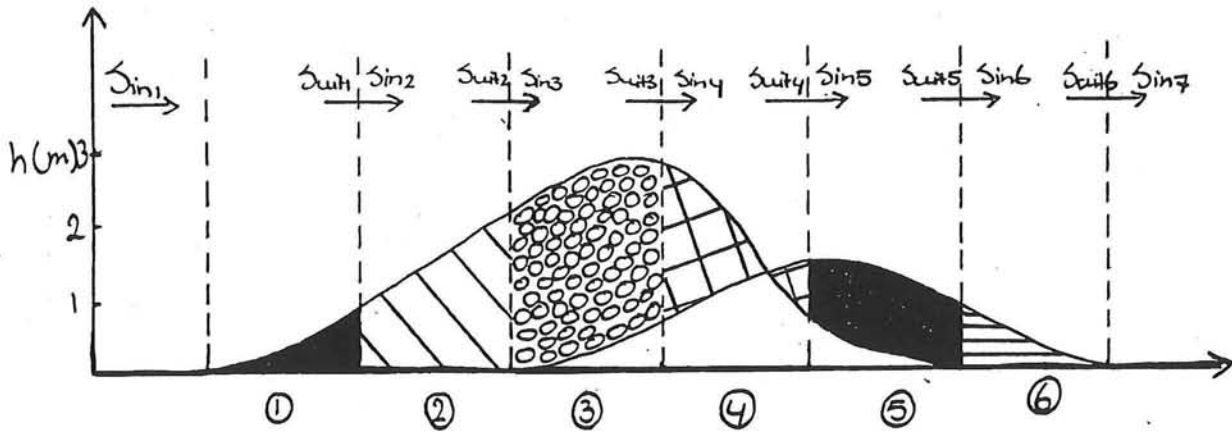
T (s)	H <sub>min</sub> zuidzijde (m)	H <sub>min</sub> top (m)	H <sub>min</sub> noordzijde (m)
4,5		3,65	
5	2,64	2,61	2,90
6	1,54	1,60	1,67
7	1,17	1,25	1,26
8	1,01	1,09	1,07
9	0,91	0,99	0,97
10	0,86	0,94	0,91

**Vervolg bijlage M**

In de onderstaande tabel zijn de genoemde percentages vermeld voor de drie verschillende dieptes die voorkomen ter hoogte van raai 4. De percentages zijn schattingen en geen exacte berekeningen.

	Zuidzijde van de zanddam	Top van de zanddam	Noordzijde van de zanddam
Eerste set	31 %	30 %	29 %
Tweede set	17 %	15 %	14 %
Derde set	10 %	10 %	8 %

Bijlage N Toelichting cumulatieve verschillubering = S.



Voor het algemene geval geldt:

$$S_{uita} = S_{ina} + \Delta S_a \quad \text{met } \Delta S_a = \text{oppervlakte van vak A}$$

$$S_{inb} = S_{uita}$$

$$S_{uitb} = S_{inb} + \Delta S_b \quad \text{met } \Delta S_b = \text{oppervlakte van vak B}$$

$$S_{inc} = S_{uitb}$$

enz.

Door de algemene regel toe te passen op het bovenstaande voorbeeld worden de volgende waarden voor S gevonden (vermeld op de volgende bladzijde):

**Vervolg bijlage N**

Stel  $S_{in1} = 0$  (Dit is een aanname)

$$S_{uit1} = -(0 + 40) = -40 \text{ m}^3/\text{m/j}$$

$$S_{uit2} = -(40 + 140) = -180 \text{ m}^3/\text{m/j}$$

$$S_{uit3} = -(180 + 210) = -390 \text{ m}^3/\text{m/j}$$

$$S_{uit4} = -(390 + 130) = -520 \text{ m}^3/\text{m/j}$$

$$S_{uit5} = -520 + 160 = -360 \text{ m}^3/\text{m/j}$$

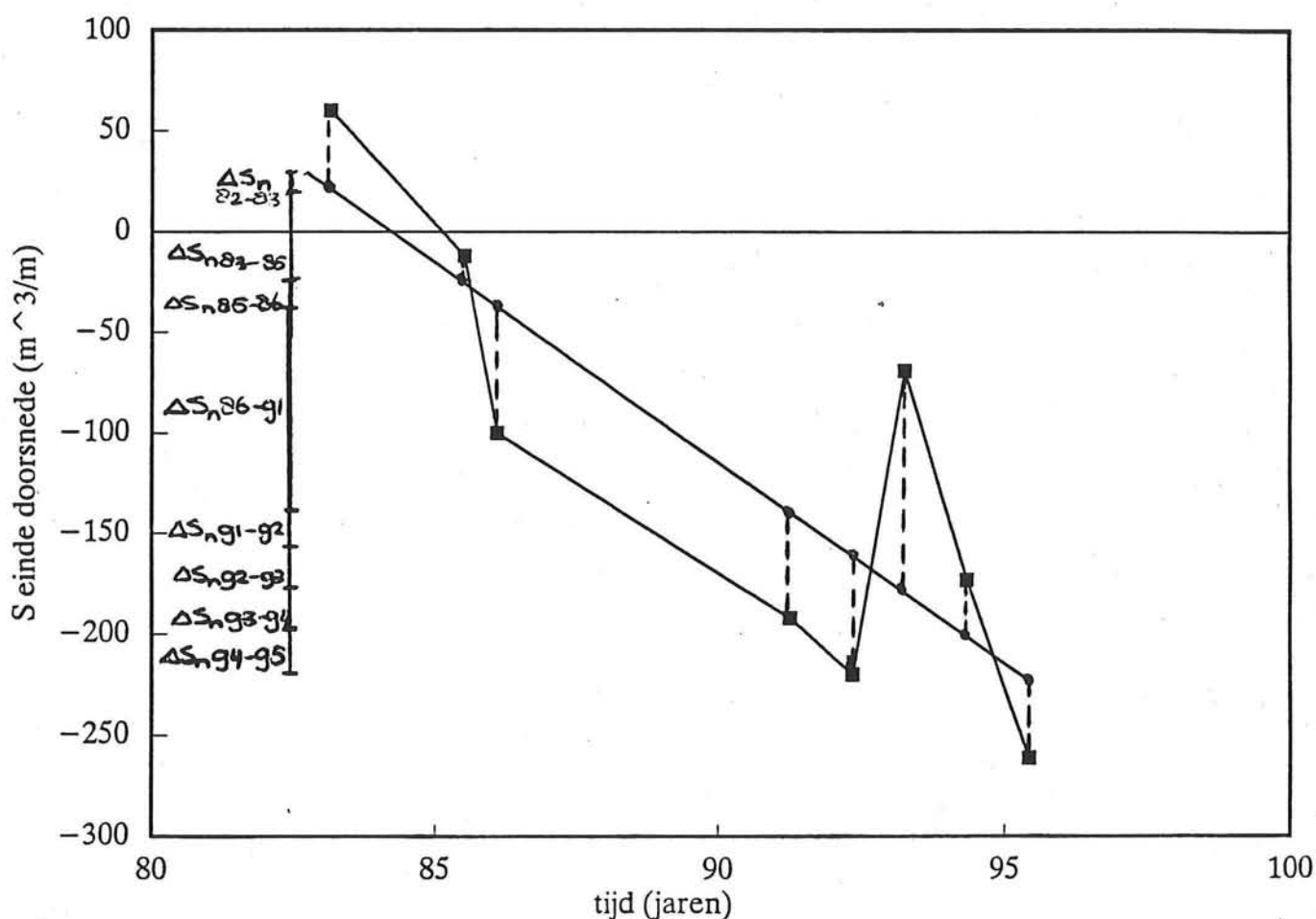
$$S_{uit6} = -360 + 40 = -320 \text{ m}^3/\text{m/j}$$

**Bijlage O Voorbeeld uitwerking benaderde S-curve: raai 4.**

Stap 1, 2, 3,4 en 5:

Aflesen van de resulterende erosie c.q. sedimentatie (waarde van het open interval). De  $\Delta S$  in een cumulatieve grafiek weergegeven en benaderen door lineaire regressie. Nieuwe waarden voor  $\Delta S$  aflezen ( $\Delta S_n$ ). In onderstaande tabel zijn  $\Delta S$  en  $\Delta S_n$  voor de verschillende lodingsjaren vermeld. Voor beide parameters is de eenheid in  $m^3/m/lodingsinterval$ .

lodings-interval	82-83	83-85	85-86	86-91	91-92	92-93	93-94	94-95
$\Delta S$	60	-72	-88	-92	-28	151	-104	-88
$\Delta S_n$	-8	-46	-12	-103	-21	-18	-21	-22

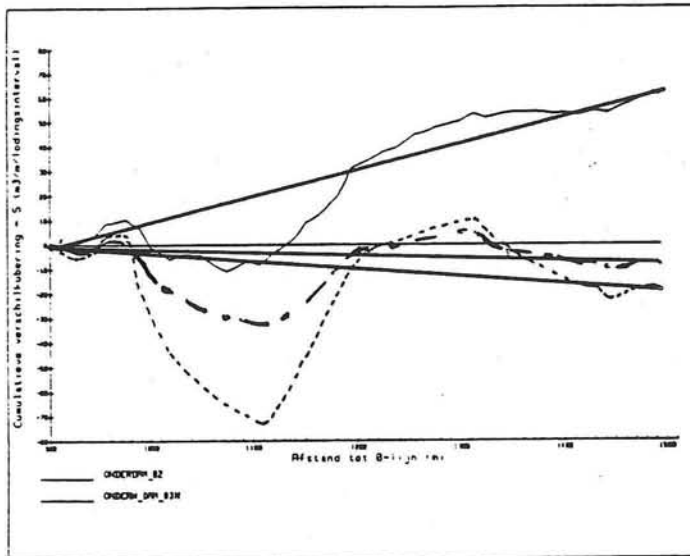


Vervolg bijlage O

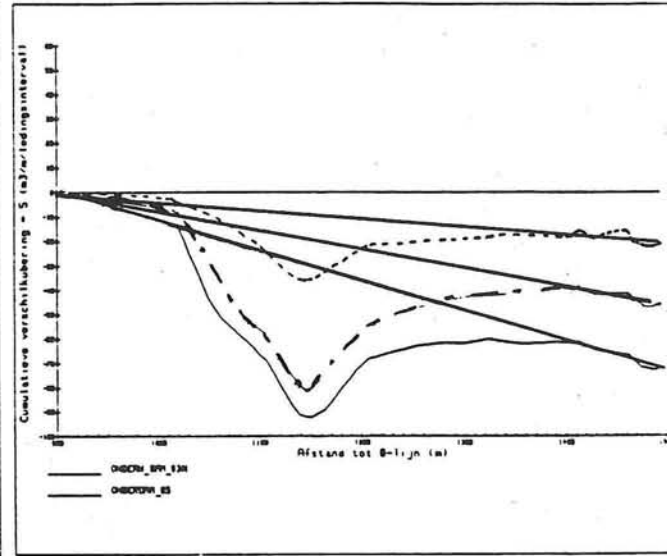
Stap 6 en 7:

De curves van de lodingsintervallen corrigeren tot  $\Delta S_n$ . Het resultaat naar een vast tijdsinterval omrekenen. In dit geval naar 1 jaar.

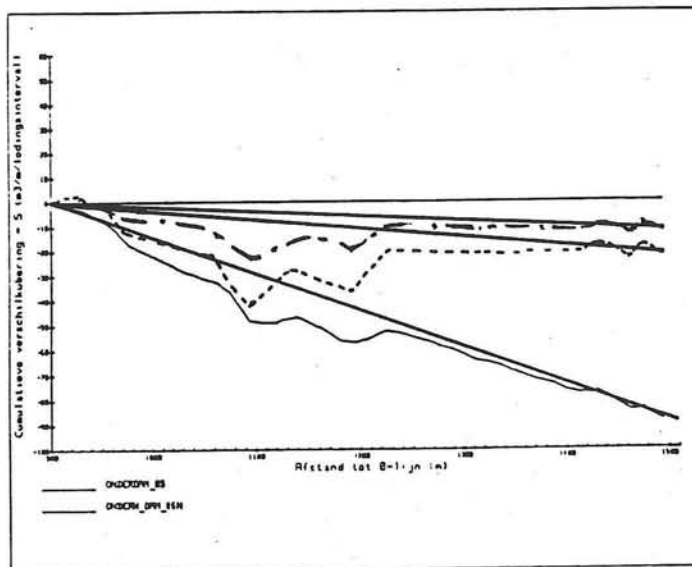
- cumulatieve verschillubering originele.
- "aangepaste" cumulatieve verschillubering aan  $\Delta S_n$  jaareenheden
- "aangepaste" cumulatieve verschillubering aan  $\Delta S_n$



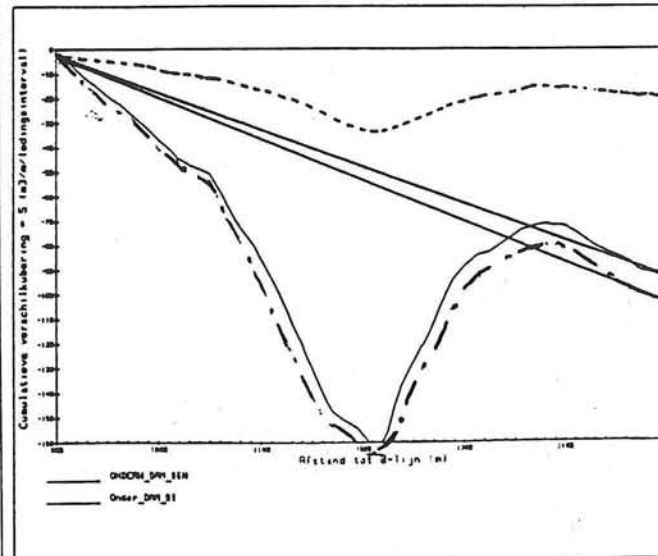
RAAI 4 1983 TOV 1982



RAAI 4 1985 TOV 1983

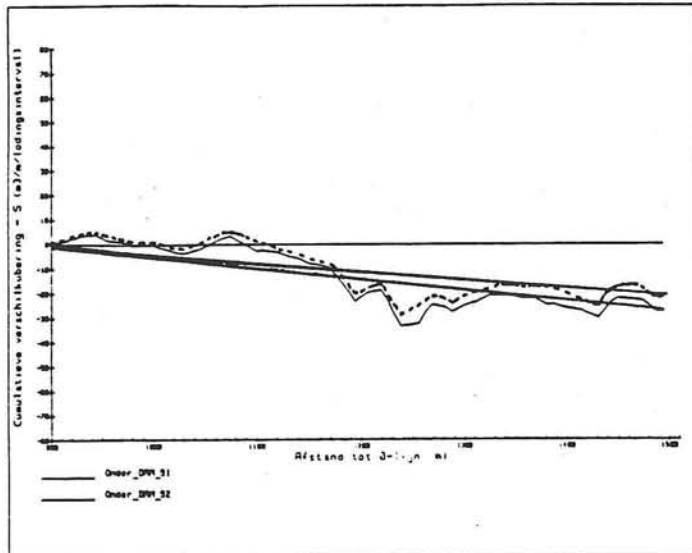


RAAI 4 1986 TOV 1985

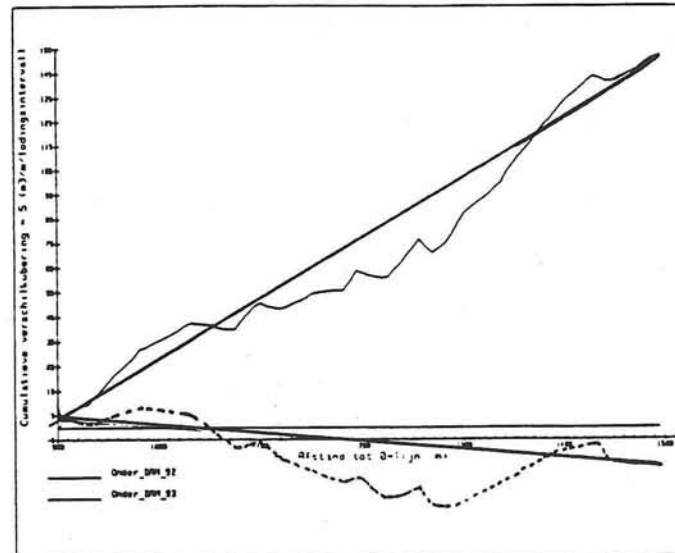


RAAI 4 1991 TOV 1986

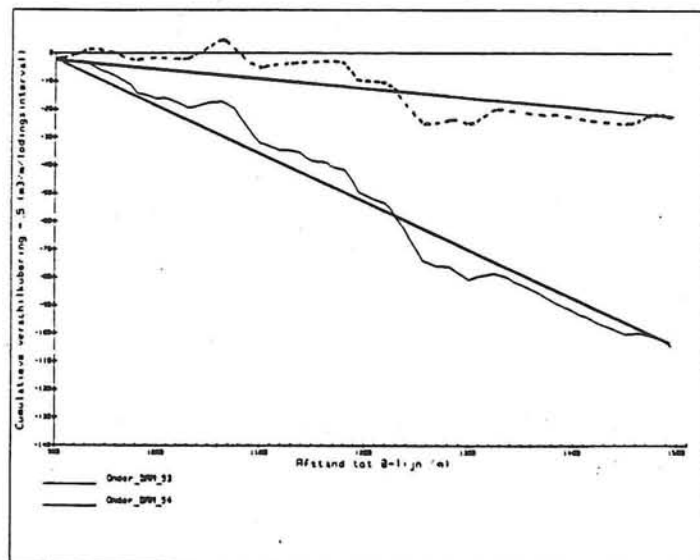
Vervolg bijlage O



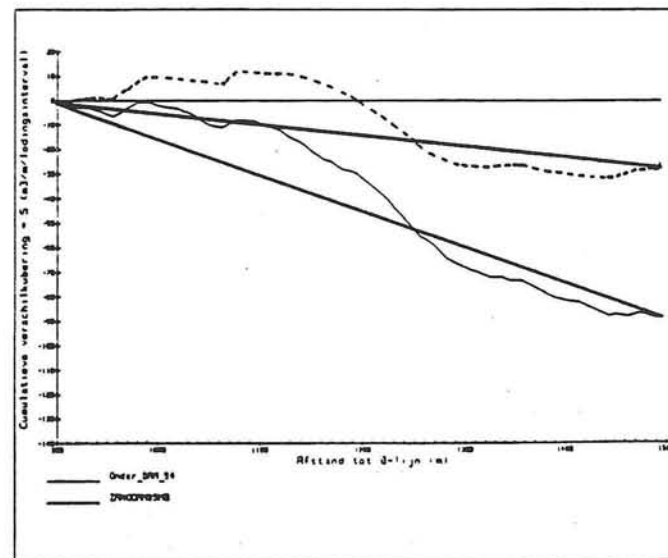
RAAI 4 1992 TOV 1991



RAAI 4 1993 TOV 1992



RAAI 4 1994 TOV 1993

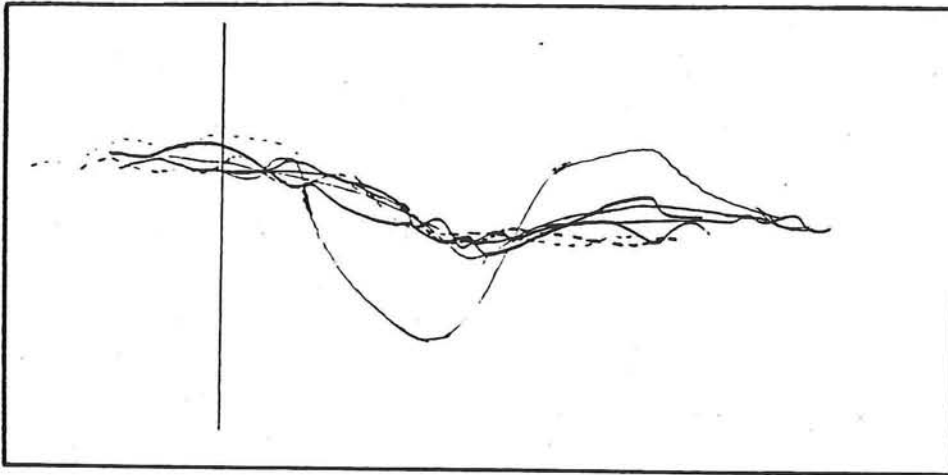


RAAI 4 1995 TOV 1994

Vervolg bijlage O

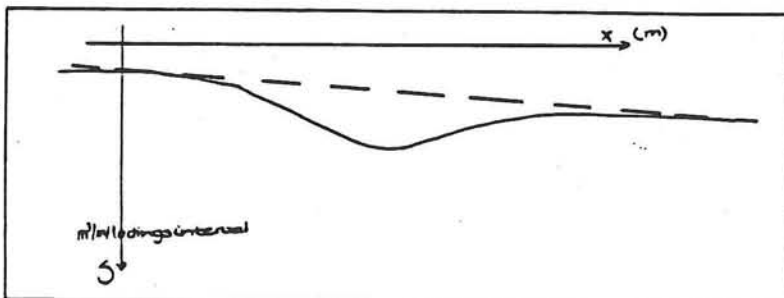
Stap 8:

De S-curves van de verschillende lodingsintervallen in één grafiek weergeven met de maxima op elkaar.



Stap 9:

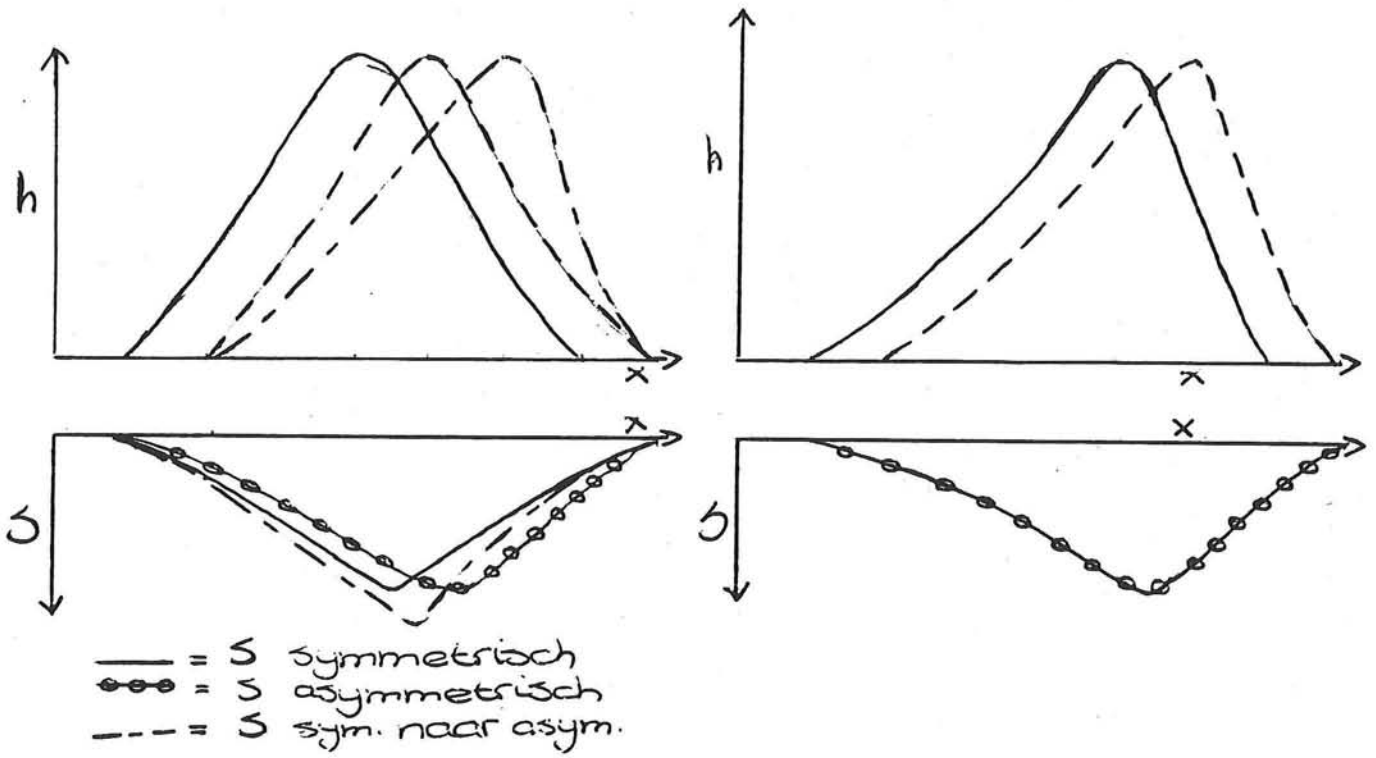
Door de ontstane figuur één representatieve (gemiddeld benaderende) S-curve vaststellen.



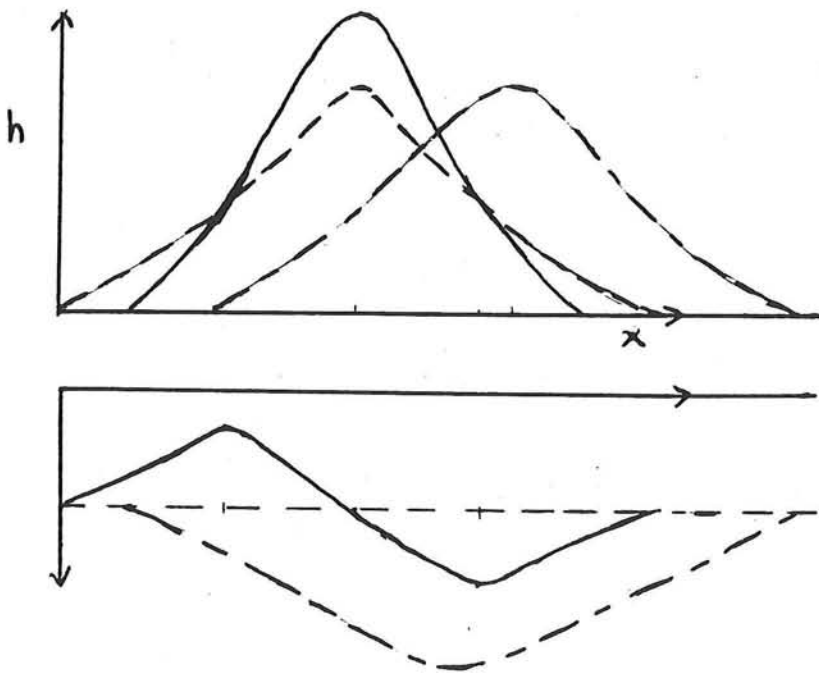
In stap 9, waarin de representatieve S-curve wordt bepaald, is de S-curve van het lodingsinterval 1982-1983 buiten beschouwing gelaten. Deze S-curve is nogal afwijkend van de overige zeven S-curves (waarschijnlijk als gevolg van "begineffecten"; de zanddam is tenslotte in 1982 aangelegd).



Bijlage P1 Toelichting zandtransportproces bij (a)symmetrie van de zanddam.



Figuur P1

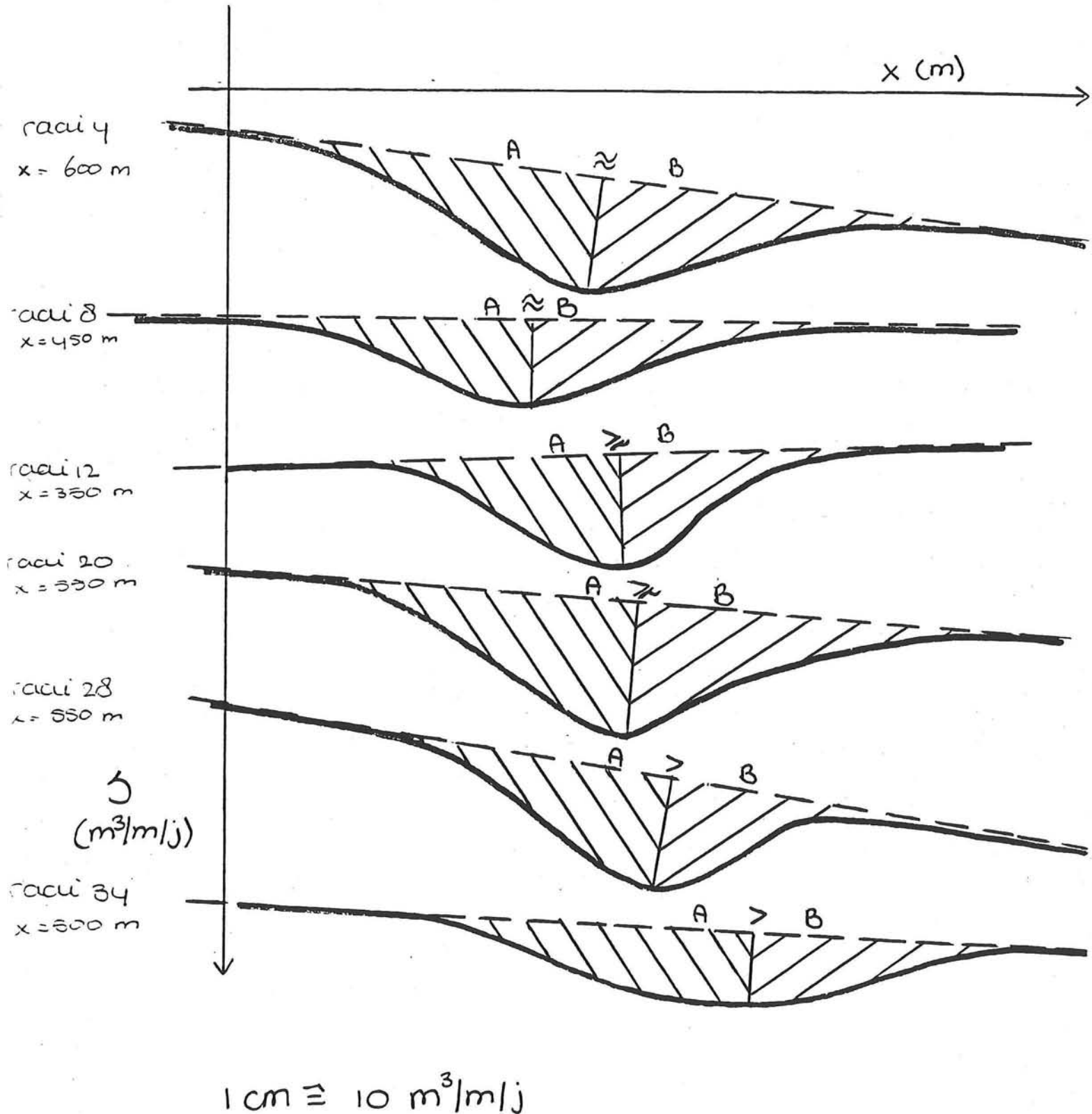


Figuur P2

**Bijlage P2** Grove benadering van de relatie symmetrie en zandtransport.

In deze bijlage is de figuur opgenomen, waaruit de relatie symmetrie en "vorm" van het zandtransport duidelijk wordt. In de hogere raaien is de asymmetrie groter. Dit blijkt ook uit de figuur.

representatieve S-curves van raaien



**Bijlage P3 De zanddam op schaal.**

In deze bijlage wordt de zanddam op schaal weergegeven. Dit wordt gedaan, omdat tijdens het onderzoek naar het gedrag van de zanddam altijd met vertrokken schalen is gewerkt. De verhouding hoogte/breedte is namelijk nogal groot. In de onderstaande figuur is uitgegaan van een damvoetbreedte van ongeveer 400 m en een hoogte van 4 m.



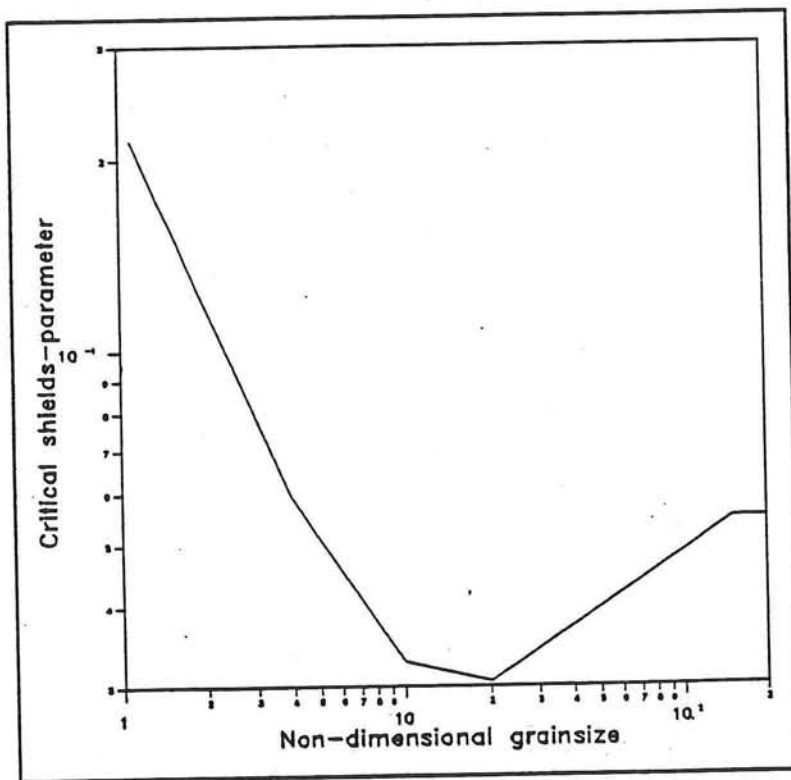
Weergave van de zanddam op schaal

**Bijlage Q1 Relatie tussen  $D_*$  en  $\theta_c$**

De kritische Shieldsparameter is een indicatie voor het begin van bewegen van sediment. Wanneer de Shieldsparameter groter is dan de kritische Shieldsparameter vindt verplaatsing (bewegen) van sediment plaats. De parameter hangt af van de dimensieloze korrelgrootte:  $\theta_c = f(D_*)$ , waarin  $D_*$  in formule 5.6 is beschreven.

De relatie tussen  $D_*$  en  $\theta_c$  is beschreven door Van Rijn [1993] (zie ook de onderstaande figuur):

$1 < D_* \leq 4$	$\Rightarrow$	$\theta_c = 0,24 D_*^{-1}$
$4 < D_* \leq 10$	$\Rightarrow$	$\theta_c = 0,14 D_*^{-0,64}$
$10 < D_* \leq 20$	$\Rightarrow$	$\theta_c = 0,04 D_*^{-0,1}$
$20 < D_* \leq 150$	$\Rightarrow$	$\theta_c = 0,013 D_*^{0,29}$
$D_* \geq 150$	$\Rightarrow$	$\theta_c = 0,055$



Kritische Shieldsparameter (figuur uit Van Rijn 1993)

**Bijlage Q2      Programmacode voor de berekening van S m.b.v het nieuwe model van Ribberink.**

```
uses crt;
Const
  rho=1025;
  rhoS=2650;
  fi=45.0;
  g=9.81;
  Delta=1.585365854;
  nu=1.25e-6;
  Filename='tot1';
Type datatype=record
      udak:array[1..10] of real;
      Tper:array[1..10] of real;
      end;

Var
  data:datatype;
  uitfile,infile:text;
  psi,ux:real;
  ugem:real;
  D50,D90:real;
  fcw,fw,fc:real;
  alpha,t,Tper,udak:real;
  thetat,phibdt,qbt,taubt:real;
  StotL,StotE,Tmax,dt,dtmonster,Ks1:real;
  teller,ingelezen:integer;

Procedure Inlezen;                    {inlezen snelheden Spanhoff/Verlaan}
Const
  h2=15.1;
  h1=17.8;

Var
  u,dummy1,dummy2,V2,Vgem:real;

begin
  readln(infile,dummy1,dummy2,u,psi);                    {ux:=(h1/h2)*u;}
  Vgem:=u*18*log(12*h1/0.005);
  V2:=Vgem*h1/h2/(18*log(12*h2/0.005));
  ux:=V2;
end;
```

Vervolg bijlage Q2

```
Procedure Ks;                                     {berekenen van de}
Const                                             {Nikuradse bodemruwheidshoogte}
  Itmax=100;
  Ac=0.0001;
  z=0.15;

var taub,verschil,theta,z0,Ks0:real;
  i:integer;
begin
Ks0:=0.005;
  z0:=Ks0/30;
  fw:=exp(-6+5.2*power(udak*Tper/2/Pi/Ks0,-0.19));
  if fw>0.3 then fw:=0.3;
  fc:=2*sqr(0.4/ln(z/z0));
  taub:=0.25*rho*fw*sqr(udak)+0.5*rho*fc*sqr(ux);
  theta:=taub/(rhoS-rho)/g/d50;
end;

Function ThetaC(D50:real):real;                 {berekenen Theta kritisch}
var
  D:real;
begin
D:=D50*power(g*Delta/nu/nu,1/3);
ThetaC:=0.055;
if D<=150 then ThetaC:=0.013*power(D,0.29);
if D<=20 then ThetaC:=0.04*power(D,-0.1);
if D<=10 then ThetaC:=0.14*power(D,-0.64);
if D<=4 then ThetaC:=0.24*power(D,-1);
If D<1 then begin
  writeln('Theta kritisch niet bepaald. ');
  readln;
  end;
end;

Procedure Compute;                               {berekenen zandtransport}
const
  m=9.1;
  n=1.78;
Var
  Ssubtot:real;
  ubgem:real;                                    {=orbitaal + stroming(=ux) }

begin
Ingelezen:=0;
StotL:=0;
StotE:=0;
```

Vervolg bijlage Q2

```
while not eof(infile) do
  begin
    gotoxy(1,1);
    write(ingelezen/3/24:10:3);
    ingelezen:=ingelezen+1;
    Ssubtot:=0;
    t:=0;
    Inlezen;
    Ks;
    alpha:=abs(ux)/(abs(ux)+udak);
    fcw:=sqrt(alpha)*fc+(1-sqrt(alpha))*fw;
    while t<Tper do {per golfperiode in 30 stappen}
      begin {het zandtransport berekenen}
        ubgem:=(udak*sin(2*Pi/Tper*t))+ux;
        taubt:=0.5*rho*fcw*abs(ubgem)*ubgem;
        thetat:=taubt/(rhoS-rho)/g/d50;
        If abs(thetat)-thetaC(d50)>0 then
          phibdt:=m*power(abs(thetat)-thetaC(d50),n)*
            thetat/abs(thetat)
          else
            phibdt:=0;
          qbt:=phibdt*sqrt(Delta*g*d50*d50*d50);
          Ssubtot:=Ssubtot+(qbt*dt)*ux/ubgem;
          t:=t+dt;
        end;
      if keypressed then begin
        if readkey=chr(27) then exit;
        end;
      StotL:=StotL+Ssubtot*(Dtmonster/Tper)*sin(Pi/180*(psi+fi));
      StotE:=StotE+Ssubtot*(Dtmonster/Tper)*cos(Pi/180*(psi+fi));
    end;
  end;
```

## Vervolg bijlage Q2

```
begin                                                    {Hoofdprogramma}
clrscr;
D50:=175e-6;
D90:=350e-6;

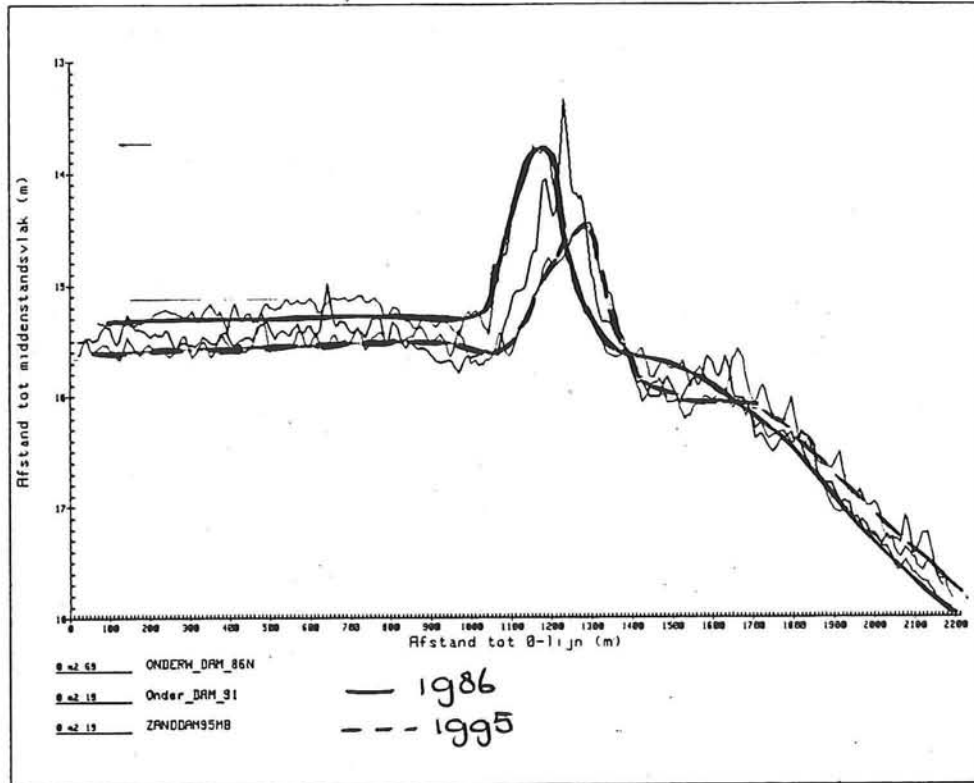
data.udak[1]:=0.0098;
data.udak[2]:=0.0376;
data.udak[3]:=0.0948;
data.udak[4]:=0.1829;
data.udak[5]:=0.3031;
data.udak[6]:=0.4495;
data.udak[7]:=0.6063;
data.udak[8]:=0.7902;
data.udak[9]:=0.9751;
data.udak[10]:=1.2308;
data.Tper[1]:=3.86;
data.Tper[2]:=4.24;
data.Tper[3]:=4.6;
data.Tper[4]:=4.97;
data.Tper[5]:=5.35;
data.Tper[6]:=5.76;
data.Tper[7]:=6.10;
data.Tper[8]:=6.51;
data.Tper[9]:=6.88;
data.Tper[10]:=7.25;

For teller:=1 to 10 do
begin
Assign(infile,filename);
reset(infile);
udak:=data.udak[teller];
Tper:=data.Tper[teller];
Tmax:=10e20;
dt:=Tper/30;
dtmonster:=1200;
Compute;
gotoxy(1,2+teller);
write(' StotL=',StotL:10:3);
write(' StotE=',StotE:10:3);
writeln(' Stot=',sqrt(sqr(StotL)+sqr(StotE)):10:3);
close(infile);
end;
End.
```

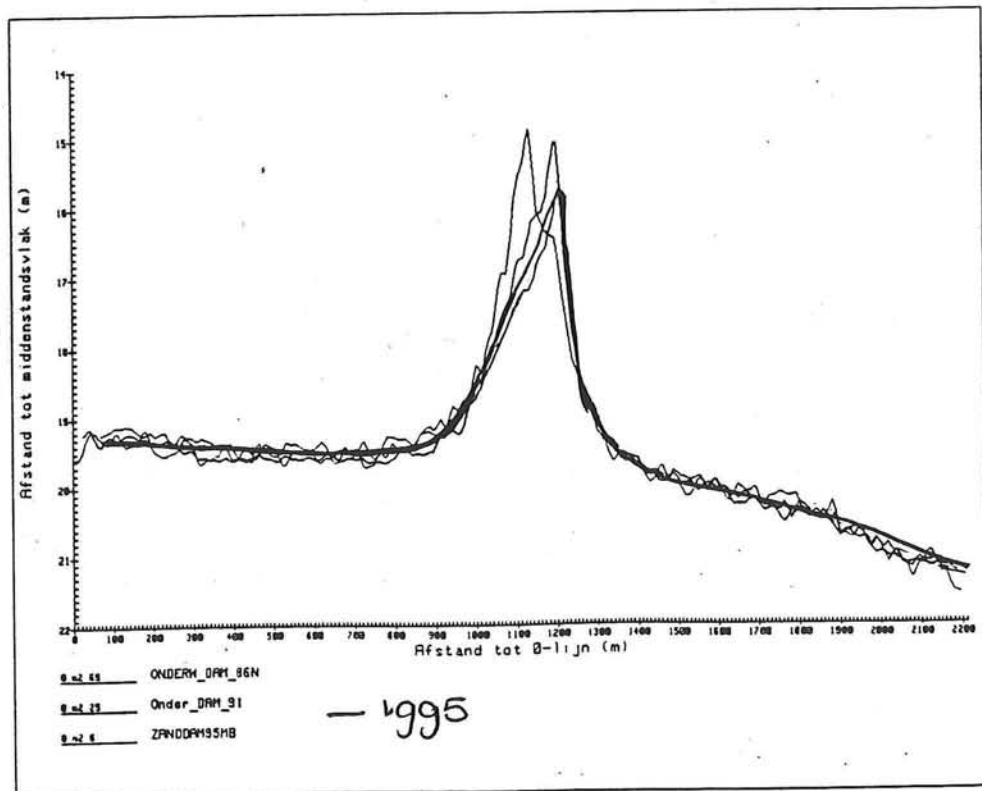
De functie POWER(x,y) geeft als resultaat  $x^y$ . Deze is gedefinieerd in een aparte unit.



Bijlage R Schematisatie dwarsdoorsneden van de raaien 4 en 20.



RAAI 4



RAAI 20

**Bijlage S Resultaten van de zandtransportberekeningen met het nieuwe model van Ribberink.**

In deze paragraaf worden de orbitaalbewegingen en de zandtransporten berekend met het nieuwe model van Ribberink gegeven. In tabel S1 zijn de gegevens van raai 4 voor de dwarsdoorsnede van 1986 vermeld. In tabel S2 zijn de gegevens van raai 4 voor de dwarsdoorsnede van 1995 opgenomen. Ook zijn in deze tabel de zandtransporten gegeven bij een orbitaalbeweging die gelijk aan nul is. In tabel S3 zijn de gegevens van raai 20 voor de dwarsdoorsnede van 1995 vermeld. In deze tabel zijn ook de zandtransporten opgenomen die gelden onder de situatie dat de richting van de golven haaks op de richting van de getijstroom staat. De eenheden van de verschillende parameters die in de tabellen S1, S2 en S3 vermeld staan, zijn:  
 waterd. (m),  $D_{50}$  en  $D_{90}$  ( $\mu\text{m}$ ), zandtransport ( $\text{m}^3/\text{m}/\text{j}$ ), afstand uit as (m), orbitaalbeweging (m/s),  $K_s$  (m)

ORBITAALBEWEGING RAAI 4 (1986)									
T (s)	800	1050	1150	1300	1400	1600	1800	2000	2200
3,86	0,0098	0,0098	0,0149		0,0091	0,0083	0,0071	0,0057	0,047
4,24	0,0376	0,0376	0,0525		0,0351	0,0328	0,0287	0,0239	0,0202
4,6	0,0948	0,0948	0,1262		0,0896	0,0848	0,0758	0,0659	0,0576
4,97	0,1829	0,1829	0,233		0,1748	0,1664	0,1515	0,1063	0,1193
5,35	0,3031	0,3031	0,372		0,291	0,2794	0,258	0,2318	0,2109
5,76	0,4495	0,4495	0,536		0,4345	0,4194	0,3917	0,3571	0,3301
6,1	0,6063	0,6063	0,7088		0,588	0,5707	0,5371	0,4952	0,4607
6,51	0,7902	0,7902	0,9071		0,7693	0,7492	0,7102	0,6617	0,6221
6,88	0,9751	0,9751	1,1061		0,9517	0,9291	0,8863	0,8312	0,7864
7,25	1,2308	1,2308	1,3819		1,204	1,1779	1,1277	1,0634	1,0115
waterd.	15,1	15,1	13,55		15,4	15,7	16,3	17,1	17,8
factor	1,1788	1,1788	1,3137		1,1558	1,1338	1,092	1,0409	1
D50	175	195	212		200	195	195	210	210
D90	350	335	320		410	500	500	450	450
ZANDTRANSPORTEN RAAI 4 (1986)									
		$K_s=3D_{90}$		$K_s=0,005$		$K_s=0,01$		$K_s=0,03$	
800		7,4		25,3		55,5		144,1	
1050		7		24,7		54,1		143,5	
1150		11,1		37,5		80,4		214,3	
1400		7,3		22,5		49,6		131,5	
1600		7		20,8		46,3		122,6	
1800		6,4		17,7		39,9		105,7	
2000		4,3		13,6		31,7		84	
2200		3,5		11,5		26,5		71	

Tabel S1 Raai 4 (1986).

**Vervolg bijlage S**

u=0 Dit is de kolom waar de zandtransporten zijn gegeven die zonder de invloed van de orbitaalbeweging zijn berekend, dus alleen getijstroming.

ORBITAALBEWEGING RAAI 4 (1995)								
T (s)	800	1050	1150	1300	1400	1500	2200	
3,86	0,0088	0,0087	0,0098	0,0116	0,0083	0,0077	0,0047	
4,24	0,0343	0,0336	0,0376	0,043	0,0328	0,0307	0,0202	
4,6	0,088	0,0863	0,0948	0,1061	0,0848	0,0802	0,0576	
4,97	0,1719	0,1691	0,1829	0,2011	0,1664	0,1588	0,1193	
5,35	0,2871	0,2832	0,3031	0,3281	0,2794	0,2687	0,2109	
5,76	0,4296	0,4245	0,4495	0,4822	0,4194	0,4058	0,3301	
6,1	0,5821	0,5764	0,6063	0,644	0,5707	0,5535	0,4607	
6,51	0,7625	0,7558	0,7902	0,8339	0,7492	0,7295	0,6221	
6,88	0,9442	0,9366	0,9751	1,0238	0,9291	0,9074	0,7864	
7,25	1,1953	1,1867	1,2308	1,2868	1,1779	1,1522	1,0115	
waterd.	15,5	15,6	15,1	14,5	15,7	16	17,8	
factor	1,1484	1,141	1,1788	1,2276	1,1338	1,1125	1	
D50	233	233	308	397	281	237	237	
D90	404	404	492	597	494	456	456	
ZANDTRANSPORTEN RAAI 4 (1995)								
	Ks=3D90	Ks=3D90 u=0	Ks=0,005	Ks=0,01	Ks=0,01 u=0		Ks=0,06	Ks=0,06 u=0
800	6,5	1,5	20,6	45,1	7,8		220,4	37,3
1050	6,3	1,5	20	44,7	7,8		217,5	37,3
1150	7,5	1,7	20,6	46,2	7,6		230,4	37,8
1300	9,4	2,1	22,4	49,8	8,2		248,5	40
1400	6,4	1,4	19,3	41,1	6,6		199,7	32,8
1500	6	1,4	17,7	40,1	6,6		193,8	32,4
2200	3,3	0,7	10,9	25,3	3,7		117,1	20,5

Tabel S2 Raai 4 (1995).

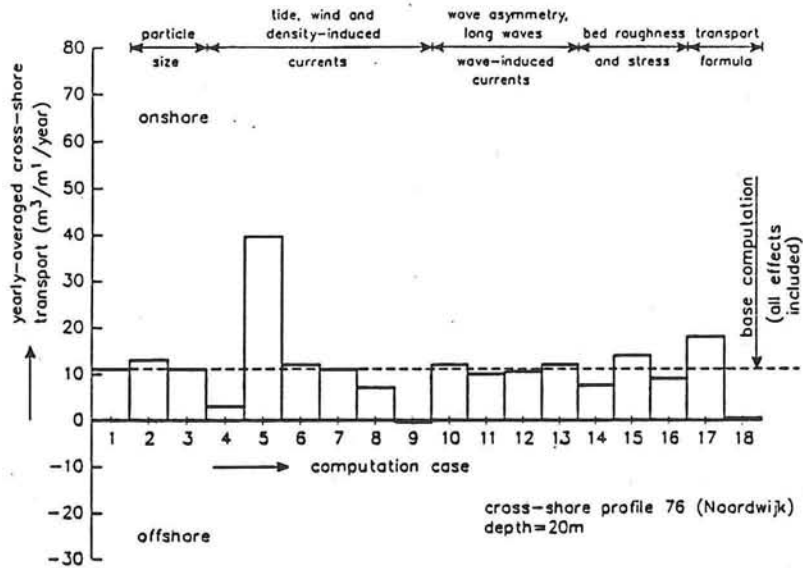
**Vervolg bijlage S**

- u ⊥ v Dit zijn de zandtransporten die berekend zijn voor het geval dat de orbitaalbeweging van de golven loodrecht op de getijstrooming staat.
- alpha Dit zijn de zandtransporten die berekend zijn, waarbij u ⊥ v staat en waarbij de wegingsfactor  $\alpha$  ook is aangepast (in de noemer).
- S<sub>evenw</sub> Dit zijn de zandtransporten die in de richting evenwijdig aan de zanddam plaatsvinden (dwarstransport).

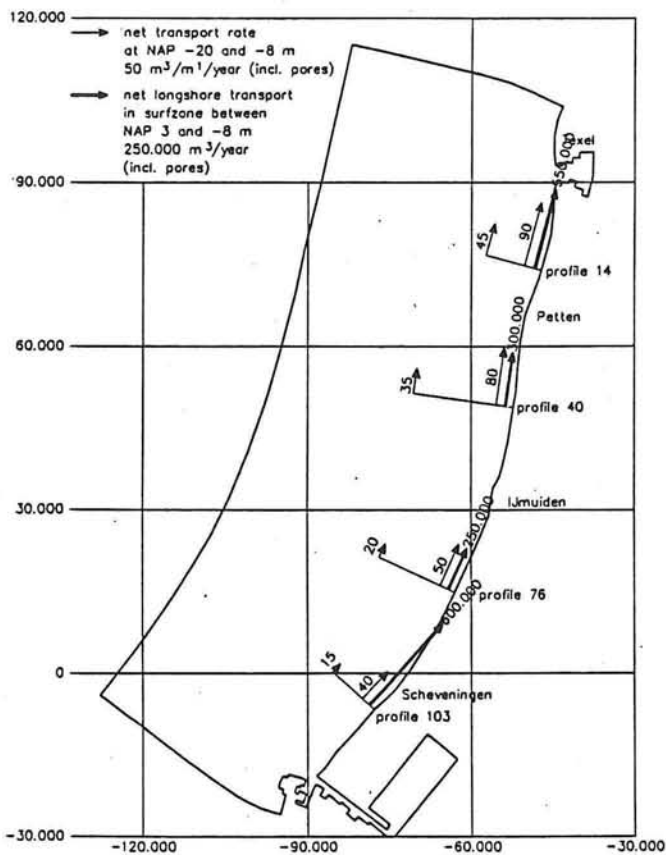
ORBITAALBEWEGING RAAI 20 (1995)								
T (s)	400	800	1050	1200	1250	1450	1700	2200
3,86	0,0031	0,003	0,0044	0,0083	0,0046	0,0027	0,0025	0,0018
4,24	0,0143	0,014	0,0191	0,0328	0,02	0,0128	0,0119	0,0093
4,6	0,0425	0,0417	0,0545	0,0848	0,0566	0,0386	0,0365	0,0296
4,97	0,0935	0,0919	0,1136	0,1664	0,1174	0,0861	0,082	0,0685
5,35	0,1695	0,1672	0,2023	0,2794	0,2082	0,1582	0,1518	0,1307
5,76	0,2737	0,2706	0,3181	0,4194	0,3256	0,258	0,267	0,2189
6,1	0,3914	0,3875	0,4468	0,5707	0,456	0,372	0,3603	0,3216
6,51	0,5396	0,5348	0,6056	0,7492	0,6166	0,5162	0,502	0,4553
6,88	0,6924	0,6869	0,7676	0,9291	0,78	0,6657	0,6498	0,5956
7,25	0,9018	0,8955	0,9903	1,1779	1,0649	0,8701	0,8515	0,7875
waterd.	19,4	19,5	18,1	15,7	17,9	19,9	20,2	21,3
factor	1,098	1,0923	1,1768	1,3567	1,1899	1,0704	1,0545	1
D50	222	222	334	446	402	359	359	359
D90	380	380	539	699	660	621	621	621
ZANDTRANSPORTEN RAAI 20 (1995)								
	Ks=3D90	Ks=0,005	Ks=0,01 (u loodr. v)	Ks=0,01 alpha	Ks=0,01 (Sloodr.)	Ks=0,01 (Sevenw.)	Ks=0,03	Ks=0,06
400 m	4,5	14	24,9	8,8	28,6	-17,8	73,9	131,1
800 m	4,4	13,7	24,3	8,6	27,9	-17,3	72,1	127,8
1050 m	7,1	16	29,6	10,4	34,4	-22	90,4	161,9
1200 m	15,6	26,8	47,9	19,2	54,9	-39,1	149,8	271,9
1250 m	8,1	15,5	29,2	10,1	34,1	-22,9	90	161,3
1450 m	4,4	10	17,9	5,9	20,9	-12,7	55,4	98,9
1700 m	4,1	9,3	16,6	5,4	19,4	-11,8	51,7	92,2
2200 m	2,9	7,3	12,7	3,9	14,8	-8,6	39,9	70,6

Tabel S3 Raai 20 (1995).

**Bijlage T Invloed model en parameters op zandtransportberekeningen uit de nota van Van Rijn.**



Effect of model and input parameters on yearly-averaged total cross-shore transport rate at depth of 20 m, profile 76 (Noordwijk)



Net sediment transport vectors along Dutch coast