



waterloopkundig laboratorium  
delft hydraulics laboratory

stormvloedkering Oosterschelde

berekening aanzanding cunetten ;  
sedimenttransport in de sluitgaten

AFGEHANDELD

verslag onderzoek

---

R 1267 - IV / M1572

november 1980

---

stormvloedkering Oosterschelde

berekening aanzanding cunetten ;  
sedimenttransport in de sluitgaten

verslag onderzoek

---

R 1267 - IV / M1572

november 1980

## INHOUD

	blz.
1. <u>Inleiding</u> .....	1
2. <u>Samenvatting en aanbevelingen voor nader onderzoek</u> .....	2
2.1 Samenvatting.....	2
2.2 Aanbevelingen voor nader onderzoek.....	3
3. <u>Probleemstelling en opzet van de metingen</u> .....	4
3.1 Probleemstelling.....	4
3.2 Suspensietransportmetingen.....	4
3.3 Bodemtransportmetingen.....	5
3.4 Bodemmonsters.....	5
4. <u>Meetmethoden en nauwkeurigheid</u> .....	6
4.1 Suspensietransport.....	6
4.2 Bodemtransport.....	7
4.3 Bedmateriaal.....	7
5. <u>Meetresultaten en nauwkeurigheid</u> .....	8
5.1 Verwerking meetgegevens.....	8
5.2 Sedimentsamenstelling.....	8
5.2.1 Bedmateriaal.....	8
5.2.2 Gesuspendeerd sediment.....	8
5.3 Sediment transport.....	11
5.3.1 Bodemtransport.....	11
5.3.2 Suspensietransport.....	12
6. <u>Toetsing sedimenttransportformules</u> .....	15

## Tabellen

- 1 Overzicht sedimenttransportmetingen
- 2 Overzicht bodemonsters
- 3 Samenstelling bedmateriaal proefcunet Roompot
- 4 Samenstelling bedmateriaal proefcunet Schaar van Roggenplaat
- 5 Samenstelling gesuspendeerd sediment
- 6,7,8 Overzicht gemeten sedimenttransport, september 1978
- 9 Overzicht suspensietransportfuncties

## Figuren

- 1 Overzicht sluitgaten Oosterschelde
- 2 Positie meetstations Hammen en Schaar van Roggenplaat
- 3 Positie meetstations Roompot
- 4 Samenstelling bedmateriaal Hammen en Schaar van Roggenplaat
- 5 Samenstelling bedmateriaal Roompot
- 6 Representatieve korreldiameter gesuspendeerd sediment
- 7 Bodemtransport Oosterschelde
- 8 Verloop stroomsnelheden en koncontraties, meetstation 3, Schaar van Roggenplaat
- 9 Stroomsnelheids- en koncontratievertikalen, meetstation 3, Schaar van Roggenplaat
- 10 Verloop gemiddelde stroomsnelheid en sedimenttransport, meetstation 3, Schaar van Roggenplaat
- 11 Na-ijling sedimenttransport in getijstroming
- 12 Sedimenttransportfunctie Hammen, versnellende stroom
- 13 Sedimenttransportfunctie Hammen, vertragende stroom
- 14 Sedimenttransportfunctie Schaar van Roggenplaat, versnellende stroom
- 15 Sedimenttransportfunctie Schaar van Roggenplaat, vertragende stroom
- 16 Sedimenttransportfunctie Roompot, versnellende stroom
- 17 Sedimenttransportfunctie Roompot, vertragende stroom
- 18 Suspensietransport per fraktie
- 19 Toetsing sedimenttransportformule Engelund-Hansen
- 20 Toetsing sedimenttransportformule Ackers-White
- 21 Toetsing sedimenttransportformule Rottner

## Symbolen

C	koëfficiënt van Chézy	$(L^{\frac{1}{2}}T^{-1})$
c	lokale sedimentconcentratie	$(ML^{-3})$
D	korreldiameter sediment	(L)
$D_s$	representatieve korreldiameter gesuspendeerd sediment	(L)
F	mobiliteitsparameter	(-)
$F_{kr}$	kritieke mobiliteitsparameter	(-)
g	versnelling zwaartekracht	$(LT^{-2})$
h	waterdiepte	(L)
K	koëfficiënt in de formule van Ackers-White	(-)
M	aantal sedimentfrakties	(-)
m	exponent in de formule van Ackers-White	(-)
n	exponent in de formule van Ackers-White	(-)
$s_b$	bodemtransport	$(ML^{-1}T^{-1})$
$s_s$	suspensietransport	$(ML^{-1}T^{-1})$
$s_t$	totaaltransport	$(ML^{-1}T^{-1})$
u	lokale stroomsnelheid	$(LT^{-1})$
$\bar{u}$	gemiddelde stroomsnelheid	$(LT^{-1})$
$u_*$	schuifspanningssnelheid	$(LT^{-1})$
$w_*$	bezinkparameter	(-)
z	hoogte boven het bed	(L)
$\Delta$	specifieke dichtheid van sediment onder water	(-)
$\rho_s$	dichtheid van het sediment	$(ML^{-3})$
$\nu$	kinematische viscositeitscoëfficiënt	$(L^2T^{-1})$

## BEREKENING AANZANDING CUNETTEN; SEDIMENTTRANSPORT IN DE SLUITGATEN

### 1. Inleiding

Eén van de problemen bij de bouw van de stormvloedkering in de mond van de Oosterschelde (fig. 1), is de aanzanding van de cunetten waarin de pijlers zullen worden geplaatst. Bij het Waterloopkundig Laboratorium is een mathematisch model (Sutrench) ontwikkeld, waarmee het verloop van de aanzanding als functie van plaats en tijd kan worden berekend. Belangrijke randvoorwaarden in dit model zijn de grootte van het sedimenttransport in relatie tot de stromingsomstandigheden op de bovenstroomse rand en de samenstelling van het gesuspendeerd sediment.

Om inzicht te krijgen in het aanzandingsverloop in de tijd en om het mathematisch model Sutrench te kunnen toetsen werden in de periode augustus-november 1979 twee proefcunetten gebaggerd in de Schaar van Roggenplaat en in de Roompot. Regelmatig werden er echoloodpeilingen uitgevoerd om de bodemligging van de cunetten te kunnen bepalen. Daarnaast werden er ook stroom- en concentratiemetingen bovenstrooms, in- en benedenstrooms van de cunetten verricht. Voor het bepalen van de samenstelling van het bedmateriaal werden bovendien een groot aantal bodemmonsters verzameld.

Het analyseren van de metingen en het afleiden van sedimenttransportfuncties geschiedde onder leiding van ir. L.C. van Rijn, die tevens dit verslag heeft samengesteld.

## 2. Samenvatting en aanbevelingen voor nader onderzoek

### 2.1 Samenvatting

Een beschrijving van de metingen, meetmethoden en meetresultaten betreffende het sedimenttransport in de sluitgaten van de Oosterschelde (fig. 1) wordt gegeven in de hoofdstukken 3, 4 en 5.

De stroom- en concentratiemetingen in de drie sluitgaten werden uitgevoerd met meetapparatuur van de meetdienst Zierikzee van de Hoofdafdeling Waterloopkunde van de Deltadienst van Rijkswaterstaat (mei-juni, augustus-december 1977 en april 1978) en van het Waterloopkundig Laboratorium (september 1978). Tabel 1 geeft een overzicht van de sedimenttransportmetingen. De positie van de meetstations is aangegeven in de figuren 2 en 3. Als gevolg van de aanwezigheid van een zanddichte bodembescherming kunnen de metingen ter plaatse van het proefcunet Schaar van Roggenplaat een onjuist beeld geven van het lokale sedimenttransport. Bij de overige metingen was geen bodembescherming aanwezig of lagen de meetstations steeds bovenstrooms van de bodembescherming.

Inzicht in het bodemtransport werd verkregen door het bepalen van de grootte en verplaatsingssnelheid van de beddingvormen in de sluitgaten [4]. Met behulp van een grijper en een valbom werden ter plaatse van de proefcunetten een groot aantal bodemmonsters verzameld. Tabel 2 geeft een overzicht van de uitgevoerde metingen.

Voor (snelle) verwerking van de stroom- en concentratiemetingen tot stroomparameters, sedimentkarakteristieken en sedimenttransport werd het computerprogramma Sudata [3] gebruikt. Dit programma biedt tevens de mogelijkheid een aantal sedimenttransportformules te toetsen.

De samenstelling van het bedmateriaal, bepaald door middel van zeefproeven bij de meetdienst Hellevoetsluis van de Directie Waterbeweging en Waterhuishouding van Rijkswaterstaat, is weergegeven in de tabellen 3 en 4. Ook werd gebruik gemaakt van grondonderzoekgegevens van het Laboratorium voor Grondmechanika te Delft (fig. 4 en 5).

Bij het analyseren van het gesuspendeerd sediment werd zowel van zeefproeven als van bezinkingsproeven gebruik gemaakt. De zeefproeven werden uitgevoerd bij het Waterloopkundig Laboratorium, de bezinkingsproeven bij het Geologisch Instituut van de Rijksuniversiteit te Leiden. Tabel 5 geeft een overzicht van de analyseresultaten. De representatieve korreldiameter van het gesuspendeerd



sediment berekend op basis van de analyseresultaten is weergegeven in figuur 6. De grootte van het bodemtransport in relatie tot de gemiddelde stroomsnelheid is weergegeven in figuur 7. Dergelijke relaties voor het suspensietransport in de drie sluitgaten zijn gegeven in de figuren 12...17 en tabel 9. Er is onderscheid gemaakt tussen versnellende en vertragende stroom, omdat het tijdsafhankelijke karakter van de getijstrooming een belangrijke invloed heeft op het suspensietransport (zie ook fig. 11).

Tenslotte werd nagegaan (hoofdstuk 6) in hoeverre het sedimenttransport in getij-omstandigheden kan worden weergegeven door transportformules. Hierbij werden de formules van Engelund-Hansen, Ackers-White en Rottner gebruikt (fig. 19, 20 en 21). De formule van Rottner gaf de beste resultaten.

## 2.2 Aanbevelingen voor nader onderzoek

Uit de meetresultaten blijkt dat de transportfuncties afgeleid uit de metingen in september 1978 (Waterloopkundig Laboratorium) in de Schaar van Roggenplaat en de Roompot aanzienlijk hogere waarden geven dan de transportfuncties afgeleid uit de overige metingen (Deltadienst Zierikzee). Naast het verschil in meetmethode moet de oorzaak worden gezocht in verschillen in de positie van de meetstations en de verschillende getij-omstandigheden (springtij-doodtij). Voor de afleiding van een goede relatie tussen de stroomsnelheid en het transport verdient het daarom aanbeveling een systematisch onderzoek te verrichten in een aantal vaste meetstations bij verschillende getij-omstandigheden, waarbij één beproeefde meetmethode wordt toegepast.

### 3. Probleemstelling en opzet van de metingen

#### 3.1 Probleemstelling

Gevoeligheidsberekeningen met behulp van het mathematisch model Sutrench hebben aangetoond dat de grootte van het inkomend sedimenttransport een belangrijke randvoorwaarde is in het model [5]. Gesteld kan worden dat de aanzanding in de sleuf vrijwel lineair afhankelijk is van de grootte van het sedimenttransport. Dit houdt in dat een nauwkeurige voorspelling van de aanzanding in de sleuf alleen mogelijk is als de grootte van het sedimenttransport in elke fase van het getij zo nauwkeurig mogelijk bekend is. Hiervoor is het noodzakelijk dat er uitgebreide en nauwkeurige stroomsnelheids- en sedimentconcentratiemetingen ter plaatse van de sleuf worden uitgevoerd. Essentieel hierbij is gebruik te maken van een beproefde meetmethode, waarmee statistisch betrouwbare gemiddelde waarden van de stroomsnelheden en sedimentconcentraties kunnen worden verkregen. Het aantal meetpunten in de vertikaal moet voldoende groot zijn (minstens vijf), terwijl er ook een nauwkeurige positiebepaling van de meetpunten ten opzichte van het bed moet plaatsvinden [6].

#### 3.2 Suspensietransportmetingen

Om inzicht te krijgen in de grootte van het suspensietransport in relatie tot stromingsomstandigheden werden er stroom- en concentratiemetingen uitgevoerd in de drie sluitgaten in de mond van de Oosterschelde: Hammen, Schaar van Roggenplaat en Roompot. Vooral ter plaatse van de proefcunetten (fig. 2 en 3) werd een omvangrijk meetprogramma uitgevoerd. Bij het grootste deel van de metingen werd gebruik gemaakt van meetapparatuur van de Deltadienst Zierikzee (van Rijkswaterstaat). Alleen bij de meting in september 1978 was dit niet het geval, maar werd meetapparatuur van het Waterloopkundig Laboratorium toegepast [6]. Tabel 1 geeft een overzicht van de metingen. De positie van de meetstations is aangegeven in de figuren 2 en 3. De eigenlijke metingen worden gerapporteerd door de Hoofdafdeling Waterloopkunde van de Deltadienst van Rijkswaterstaat.

Met betrekking tot de data van de metingen ter plaatse van de proefcunetten moet worden opgemerkt dat de metingen in augustus 1977 plaatsvonden vóór het baggeren van de proefcunetten, terwijl de overige metingen na het baggeren van de proefcunetten plaatsvonden.

Verder is van belang te vermelden dat de natuurlijke bodem in de sluitgaten grotendeels bedekt was met een zanddichte bodembescherming. Ter plaatse van de proefcunetten is een gedeelte van deze bodembescherming verwijderd. Als gevolg van de aanwezigheid van de zanddichte bodembescherming kunnen de metingen ter plaatse van het proefcunet Schaar van Roggenplaat een onjuist beeld geven van het lokale sedimenttransport. Bij de overige metingen hoeft hier geen rekening mee te worden gehouden omdat de meetstations steeds bovenstrooms van de bodembescherming lagen (meetstations 1a...5a voor de vloed- en meetstations 1b...5b voor de ebperiode).

### 3.3 Bodemtransportmetingen

Metingen betreffende de grootte en verplaatsingssnelheid van de beddingsvormen werden gebruikt om de grootte van het bodemtransport in de sluitgaten te bepalen [4]. De metingen omvatten echoloodpeilingen in de Roompot in de periode 16 januari-27 februari 1976 vanaf een varende peilschip ("Wijker Rib") van de Delta-dienst Zierikzee en echoloodpeilingen over een beperkte afstand (ca. 30 m) in de drie sluitgaten in de periode 5-25 februari 1976 vanaf een verankerd ponton ("Moby Dick").

### 3.4 Bodemmonsters

In de periode september 1977-februari 1978 werden ter plaatse van de proefcunetten met behulp van een grijper en een valbom een groot aantal bodemmonsters genomen met het doel om de samenstelling van het bodemmateriaal te analyseren. Een overzicht van de metingen is gegeven in tabel 2. De positie van de meetstations is aangegeven in figuur 2 en 3.

Ook werd gebruik gemaakt van grondonderzoekgegevens (tot 1 januari 1977) van het Laboratorium voor Grondmechanica te Delft.

#### 4. Meetmethoden en nauwkeurigheid

##### 4.1 Suspensietransport

Bij de metingen werd zowel van meetapparatuur van de Deltadienst Zierikzee als van meetapparatuur van het Waterloopkundig Laboratorium gebruik gemaakt.

In 1977 werden alle metingen door de Deltadienst Zierikzee uitgevoerd.

In het onderste meetpunt van de vertikaal (op 0,4 m boven het bed) werd de Delftse Fles in een statief toegepast om de sedimentconcentraties te bepalen. Naast de Delftse Fles bevond zich een Ott-molen voor het meten van de stroomsnelheid. De meettijd bedroef ca. 20 minuten. De nadelen verbonden aan deze methode zijn: de relatief lange meettijd waardoor in getij-omstandigheden te weinig metingen kunnen worden verricht en het beperkte vangend vermogen van de Delftse Fles voor fijn sediment. In de overige punten van de vertikaal (op 1, 2, 4, 7, 10, 15 en 20 m boven het bed) werd een pompsysteem gebruikt. Dit systeem bestond uit een draaglichaam met een pomp (onder water) voor het bemonsteren van water en sediment en een filtreersysteem (aan dek) voor het scheiden van water en sediment [2]. De pompinlaat werd gevormd door 25 rechthoekige openingen met een totale oppervlakte van ca.  $3,5 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2$ . Gegeven de pompkapaciteit van ca. 10 liter per minuut bedroef de aanzuigsnelheid ca. 0,5 m/s, wat relatief onnauwkeurig is bij hoge stroomsnelheden [6]. De opstelling van de pomp in het draaglichaam was zodanig dat de pompinlaat zich binnen de invloedssfeer (wervelgebied) van het draaglichaam bevond, waardoor de bemonstering in ongunstige zin kan zijn beïnvloed. Bovendien was de pompinlaat loodrecht op de stroomrichting georiënteerd. De pompslang had een inwendige diameter van ca. 0,01 m. Een nadeel van de toegepaste slang was de te geringe weerstand tegen vervorming van de doorsnede door de stroomdruk. Als gevolg daarvan liep bij hoge stroomsnelheden en grote waterdiepten de pompkapaciteit soms sterk terug. De bemonsterde hoeveelheid water werd vastgesteld uit de meettijd en de pompkapaciteit. De pompkapaciteit werd gemeten door het vullen van een emmer van 10 liter (voor en na elke meting). De scheiding van water en sediment geschiedde door middel van filtreren met filtreerdoek met een maaswijdte van ca. 100  $\mu\text{m}$  (later 70  $\mu\text{m}$ ). De hoeveelheid gevangen sediment werd in een maatglas gespoeld om het volume (inclusief poriën) te kunnen bepalen. Verder moet nog worden vermeld dat de positie van de meetpunten in de vertikaal werd bepaald door de lengte van de uitgevierde hijskabel te meten (mechanische teller). Het meten van de stroomsnelheid geschiedde met behulp van een Ott-molen op enige meters afstand van de pompinlaat.

Het zal duidelijk zijn dat deze meetmethode niet alleen bewerkelijk is (relatief lange meettijd), maar ook de kans op onnauwkeurigheden en fouten vergroot. Uit vergelijkende metingen [2] blijkt dat er onnauwkeurigheden in de concentraties van ca. 100% kunnen optreden. Tijdens de metingen in 1978 werd de Delftse Fles niet meer gebruikt. Een verdere verbetering was het verzamelen van het gevangen sediment in een potje, ten einde het (droog)gewicht en de korrelsamenstelling te kunnen bepalen. Bij deze metingen werd ook een fijner filtreerdoek gebruikt (70  $\mu\text{m}$ ).

De metingen in september 1978 werden uitgevoerd met meetapparatuur ontwikkeld bij het Waterloopkundig Laboratorium Delft [6]. Deze meetmethode onderscheidt zich van die van de Deltadienst Zierikzee door het gebruik van een pompinlaat georiënteerd in de stroomrichting, een stroomsnelheidsmolen direct naast de pompinlaat, een echolood voor het bepalen van de hoogte boven het bed, een volumemeter voor het bepalen van het bemonsterd volume water en filtreerdoek met een maaswijdte van 50  $\mu\text{m}$ . Uitgaande van stroomsnelheden variërend van 0,5-1,5 m/s bedraagt de maximale onnauwkeurigheid van de gemeten sedimentconcentraties ca. 20% [6].

#### 4.2 Bodemtransport

De grootte van het bodemtransport werd bepaald uit echoloodpeilingen van de beddingvormen in de sluitgaten. Uit de grootte en verplaatsingssnelheid van de beddingvormen werd de grootte van het transport afgeleid. Een beschrijving hiervan en een beschouwing van de nauwkeurigheid worden gegeven in [4].

#### 4.3 Bedmateriaal

Het nemen van bodemmonsters geschiedde met behulp van een grijper en een valbom. De grijpermethode werd toegepast om de samenstelling van de toplaag van het bed vast te stellen, terwijl de valbommethode werd gebruikt om meer inzicht te krijgen in de samenstelling van de bovenlaag (0,5 m dik) van het bed.

## 5. Meetresultaten en nauwkeurigheid

### 5.1 Verwerking meetgegevens

In verband met een snelle verwerking van de stroom- en concentratiemetingen tot stroomparameters, sedimentkarakteristieken en sedimenttransport werd gebruik gemaakt van het computerprogramma Sudata [3].

Bij de berekening van het suspensietransport met dit computerprogramma wordt zowel een partiële als een integrale methode gevolgd. Bij de partiële methode wordt, uitgaande van de oorspronkelijke meetwaarden, alleen het transport tussen het bed en het hoogst gelegen meetpunt berekend. De integrale methode houdt in dat het suspensietransport wordt bepaald door theoretische verdelingen voor de concentratie- en stroomsnelheidsvertikaal zo goed mogelijk te laten aansluiten bij de meetwaarden (curve-fitting). Door extrapolatie van deze theoretische verdelingen tot aan het bed en het wateroppervlak wordt het volledige suspensietransport verkregen.

Verder worden door het computerprogramma een aantal stroomparameters en sedimentkarakteristieken berekend. Tevens kan het gemeten sedimenttransport worden vergeleken met berekende waarden volgens transportformules (Ackers-White, Englund-Hansen, Rottner en Yang).

### 5.2 Sedimentsamenstelling

#### 5.2.1 Bedmateriaal

De bodemonsters (grijperen valbom) verzameld ter plaatse van de proefcunetten, werden geanalyseerd bij de meetdienst Hellevoetsluis van Rijkswaterstaat. Hierbij werd het gehalte aan slib-, kalk- en organische stof vastgesteld alsmede de korrelverdeling van de zandfractie door het materiaal te zeven. Het slibgehalte bedroeg ca. 1%, het gehalte aan kalk- en organische stof varieerde van 5-30%. Een overzicht van de korrelsamenstelling van het bedmateriaal in raai B ter plaatse van beide proefcunetten is gegeven in de tabellen 3 en 4. Wat betreft de valbomonsters zijn alleen de gegevens met betrekking tot de bovenste 0,1 meter in beschouwing genomen.

De monsters die na november 1977 (baggeren van de cunetten) werden genomen in het diepe gedeelte van de cunetten (stations B4, 5, 6) mogen representatief worden verondersteld voor het gesedimenteerde materiaal.

### Proefcunet Roompot

Vergelijking van de analyseresultaten behorende bij de metingen vóór het baggeren (september 1977) en na het baggeren van het cunet (november 1977 en februari 1978) toont duidelijk aan dat het gesedimenteerde materiaal fijner van samenstelling is (tabel 5). De gemiddelde  $D_{50}$  van het gesedimenteerde materiaal ter plaatse van de stations B4, 5, 6 is ongeveer 250  $\mu\text{m}$ , terwijl de gemiddelde  $D_{50}$ -waarde van het bedmateriaal in dezelfde meetstations vóór het baggeren van het cunet ongeveer 340  $\mu\text{m}$  bedraagt. Hieruit kan worden gekonkludeerd dat de aanzanding in het cunet voor een belangrijk deel wordt veroorzaakt door bezinking van gesuspendeerd sediment.

### Proefcunet Schaar van Roggenplaat

Ook in het proefcunet Schaar van Roggenplaat is het gesedimenteerde materiaal fijner van samenstelling dan het oorspronkelijke bedmateriaal, alhoewel het verschil minder duidelijk is dan bij het proefcunet in de Roompot. De gemiddelde  $D_{50}$ -waarde van de bodemonsters in de meetstations ter plaatse van het diepe gedeelte in het cunet (B4, 5, 6) bedraagt ca. 265  $\mu\text{m}$ , terwijl de  $D_{50}$  van het oorspronkelijke bedmateriaal buiten het cunet (B2, 3, 7, 8) ca. 295  $\mu\text{m}$  is.

### Overig gedeelte van de sluitgaten

In verband met het uitvoeren van aanzandingsberekeningen voor de cunetten in de drie sluitgaten was het eveneens nodig inzicht te verkrijgen in de samenstelling van het bedmateriaal in het overige gedeelte van de sluitgaten (grenzend aan de proefcunetten). Hiervoor werden grondonderzoekgegevens van het Laboratorium voor Grondmechanica te Delft gebruikt. Met behulp van deze gegevens is in figuur 4 en 5 aangegeven tussen welke grenzen de  $D_{50}$  van het bedmateriaal varieert in de verschillende bodemlagen ter plaatse van de tracé-as in de sluitgaten.

#### 5.2.2 Gesuspendeerd sediment

Om een representatieve korreldiameter van het gesuspendeerd sediment te kunnen bepalen werden er uitgebreide sedimentbemonsteringen uitgevoerd. De sedimentmonsters verzameld tijdens de concentratiemetingen in september 1978 werden door

middel van zeefproeven geanalyseerd. Dit onderzoek werd uitgevoerd bij het Waterloopkundig Laboratorium.

Om zeefbare hoeveelheden te krijgen werden alle monsters gevangen in de meetpunten op 0,4 en 1,0 m boven het bed bij stroomsnelheden van 0-1 m/s bij elkaar gevoegd. Een dergelijke methode werd ook toegepast voor de overige meetpunten in de vertikaal. Daarnaast werd nog een snelheidsklasse van 1-1,5 m/s onderscheiden. Tabel 5 geeft een overzicht van de indeling en de resultaten ( $D_{50}$ ) van de zeefproeven. Tussen de proefresultaten voor de drie sluitgaten zijn geen significante verschillen waarneembaar.

De monsters verzameld tijdens de metingen in november en december 1977 werden geanalyseerd door middel van bezinkproeven. Dit onderzoek werd uitgevoerd bij het Geologisch Instituut van de Rijksuniversiteit te Leiden. De gevolgde analysemethode omvatte het laten bezinken van de sedimentmonsters in een cilinder gevuld met een glycerinevloeistof van konstante temperatuur. Door de gewichtstoename (in de tijd) van het bezonken sediment met behulp van een ondergedompelde balans te meten, kan de samenstelling van het sediment (aandeel van elke fractie) worden bepaald, indien de bezinksnelheid van elke fractie bekend is. De bezinksnelheden werden berekend met behulp van de formule van Stokes. De bezinkproeven werden voor ieder afzonderlijk sedimentmonster uitgevoerd. Dit was mogelijk, omdat slechts geringe hoeveelheden nodig zijn om een dergelijke proef te kunnen uitvoeren. Tabel 5 geeft een overzicht van de samenstelling van het gesuspendeerd sediment gebaseerd op de bezinkproeven. De waarden in de tabel vertegenwoordigen de gemiddelde waarde van alle proefresultaten voor de aangegeven klassen. Tussen de proefresultaten voor de drie sluitgaten zijn geen significante verschillen waarneembaar bij overeenkomstige stromingsomstandigheden (stroomsnelheid en hoogte boven het bed).

Vergelijking van de beide analysemethoden toont aan dat bij de resultaten gebaseerd op de metingen van de Deltadienst Zierikzee het aandeel van de fractie van 50 - 105  $\mu\text{m}$  bij stroomsnelheden van 0 - 1 m/s enigszins geringer is dan bij de resultaten behorende bij de metingen van het Waterloopkundig Laboratorium. De oorzaak hiervoor is de toepassing van filtreerdoek met een kleinere maaswijdte (50  $\mu\text{m}$ ) voor het scheiden van het water en sediment bij de meetmethode van het Waterloopkundig Laboratorium. Bij hoge stroomsnelheden (1 - 1,5 m/s) waren verschillen in het aandeel van de fijnste fractie niet aantoonbaar. Verder valt op dat bij hogere stroomsnelheden het aandeel van de grovere fracties toeneemt, doordat bij die stromingsomstandigheden ook de grovere sedimentkorrels in suspensie gaan. Dit treedt het duidelijkst op bij de metingen uitgevoerd door de Deltadienst Zierikzee.



Uitgaande van de samenstelling van het gesuspendeerd sediment kan op eenvoudige wijze de bijdrage van elke sedimentfractie aan het suspensietransport worden bepaald. Dergelijke berekeningen zijn voor drie fracties uitgevoerd: 50 - 105  $\mu\text{m}$ , 105 - 210  $\mu\text{m}$  en 210 - 420  $\mu\text{m}$  (zie paragraaf 5.3).

Met behulp van de resultaten werd de representatieve korreldiameter van het gesuspendeerd sediment ( $D_s$ ) bepaald volgens:

$$D_s = \sum_1^M \frac{s_{s,j}}{s_s} D_j \quad (5.1)$$

waarin:

$s_{s,j}$	= suspensietransport voor fractie j	(kg/sm)
$s_s$	= totale suspensietransport	(kg/sm)
$D_j$	= gemiddelde korreldiameter van fractie j	(m)
M	= aantal fracties (=3)	(-)

Figuur 6 geeft de representatieve korreldiameter van het gesuspendeerde sediment als functie van de gemiddelde stroomsnelheid. Er is onderscheid gemaakt tussen de metingen uitgevoerd door de Deltadienst Zierikzee en het Waterloopkundig Laboratorium. In beide gevallen kan er bij toenemende stroomsnelheid een toenemende representatieve korreldiameter worden waargenomen. Als gemiddelde kan een waarde van ca. 170  $\mu\text{m}$  worden aangehouden.

### 5.3 Sediment transport

#### 5.3.1 Bodemtransport

Uit de grootte en verplaatsingssnelheid van de beddingsvormen in de sluitgaten werd een relatie voor de grootte van het bodemtransport afgeleid. De berekeningsresultaten, getoond in figuur 7, kunnen worden weergegeven door [4]:

$$s_b = 0,06 \bar{u}^{-3} \quad (5.2)$$

waarin:

$s_b$	= bodemtransport	(kg/sm)
$\bar{u}$	= gemiddelde stroomsnelheid	(m/s)

Gezien de spreiding in de berekeningsresultaten mag aan vergelijking (5.2) slechts een beperkte nauwkeurigheid worden toegekend.

### 5.3.2 Suspensietransport

Om op elk tijdstip in een meetstation het suspensietransport te kunnen berekenen, moeten de stroomsnelheids- en concentratievertikalen bekend zijn. Deze vertikalen kunnen worden afgeleid uit het verloop in de tijd van de stroomsnelheden en concentraties in de verschillende meetpunten boven het bed. Figuur 8 geeft een voorbeeld van het tijdsafhankelijk verloop van de stroomsnelheden en concentraties op respectievelijk 0,2: 1, 2, 10, 18 m boven het bed.

Het suspensietransport op elk tijdstip volgt uit:

$$s_s = \int_0^h u(z) c(z) dz \quad (5.3)$$

waarin:

$u(z)$  = stroomsnelheid op hoogte  $z$  boven het bed (m/s)  
 $c(z)$  = concentratie op hoogte  $z$  boven het bed (kg/m<sup>3</sup>)  
 $h$  = waterdiepte (m)

Om inzicht te krijgen in de bijdrage van de verschillende sedimentfrakties aan het suspensietransport werden bij de berekeningen, uitgevoerd met het computerprogramma Sudata [3], drie sedimentfrakties onderscheiden: 50 - 105  $\mu\text{m}$ , 105 - 210  $\mu\text{m}$  en 210 - 420  $\mu\text{m}$ . De samenstelling van gesuspenseerd sediment (tabel 5, metingen Waterloopkundig Laboratorium) werd gebruikt om de bijdrage van elke fraktie in de concentraties te bepalen. Op basis van deze gegevens werd het suspensietransport bepaald volgens de partiële en integrale methode [3]. Het gemiddelde van beide waarden is representatief verondersteld voor het gemeten suspensietransport. De tabellen 6, 7 en 8 geven een overzicht van de berekeningsresultaten voor de metingen in september 1978, uitgevoerd met meetapparatuur van het Waterloopkundig Laboratorium. De overige metingen worden gerapporteerd door de Deltadienst van Rijkswaterstaat. De figuren 9 en 10 geven voorbeelden van stroomsnelheids- en concentratievertikalen volgens de partiële en integrale methode, alsmede het verloop van het sedimenttransport in de tijd.

Bij het opstellen van een relatie tussen het suspensietransport en de stromingsomstandigheden werden niet alle meetresultaten in beschouwing genomen. Van de metingen uitgevoerd door de Deltadienst Zierikzee werden alleen die resultaten

gebruikt waarbij er een duidelijke relatie bestond tussen de stroomsnelheid en de sedimentconcentratie. Deze (subjektieve) aanpak was noodzakelijk omdat in een aantal meetstations bij relatief hoge stroomsnelheden een onwerkkelijk lage sedimentconcentratie was gemeten, waarschijnlijk als gevolg van onvolkomenheden in de toegepaste meetmethode (afknijpen van de pompslang).

Analyse van de gebruikte meetresultaten toonde aan dat er een relatie bestond tussen het suspensietransport en de gemiddelde stroomsnelheid. Geen of slechts geringe invloed had de getijperiode (eb of vloed), de waterdiepte en de watertemperatuur. Ook kon geen seizoensinvloed worden waargenomen. Wel belangrijk waren de plaats van het meetstation en het tijdsafhankelijke karakter van de stroming.

Het tijdsafhankelijk gedrag van de getijstroming is er de oorzaak van dat voor gelijke stroomsnelheid het suspensietransport bij vertragende stroom aanzienlijk hoger is dan bij versnellende stroom. Dit kan worden aangetoond met behulp van figuur 11, waarin het verloop van het suspensietransport in de tijd is weergegeven. Afhankelijk van de waterdiepte en de verticale uitwisselingsnelheid zal er bij versnellende stroom een zekere na-ijling optreden van het werkelijke transport ten opzichte van de transportcapaciteit van de stroom. Het opnemen van sediment door de stroom zal doorgaan zolang de transportcapaciteit groter is dan het werkelijk optredend transport. Pas na het tijdstip waarop transport en transportcapaciteit gelijk zijn zal het bezinkingsproces gaan overheersen. Bij aanwezigheid van fijn sediment en/of een grote waterdiepte kan het bezinkingsproces ook tijdens de perioden met lage stroomsnelheden en tijdens kentering doorgaan. In dat geval zal de na-ijlingstijd  $\Delta T_2$  (zie figuur) relatief groot zijn. Uit figuur 11 kan op eenvoudige wijze worden afgeleid dat het suspensietransport bij versnellende stroom altijd kleiner is dan bij vertragende stroom als er na-ijlingsverschijnselen optreden.

De relaties tussen het suspensietransport en de gemiddelde stroomsnelheid bij versnellende en vertragende stroom in de Hammen, Schaar van Roggenplaat en de Roompot zijn gegeven in de figuren 12 ... 17 en tabel 9. Bij het afleiden van deze transportfuncties werd gebruik gemaakt van regressie-analyse (kleinste kwadraten methode) op de logarithme van de oorspronkelijke waarden, teneinde te voorkomen dat de functies bijna volledig worden bepaald door de relatief grote verschillen tussen de meetwaarden en de functie-waarden bij hoge stroomsnelheden. Opmerkelijk is dat de transportfuncties behorende bij de metingen in september 1977 (Waterloopkundig Laboratorium) in de Schaar van Roggenplaat en de

Roompot veel hogere waarden geven dan de transportfuncties behorende bij de overige metingen (Deltadienst Zierikzee). De grote afwijkingen kunnen niet volledig worden verklaard uit verschillen in de toegepaste meetmethoden. Veeleer moet de oorzaak worden gezocht in verschillen in de positie van de meetstations (wel of geen bodembescherming) en mogelijk ook verschillen in getij-omstandigheden (springtij-doodtij). Alleen door systematisch onderzoek in een aantal "vaste" meetstations bij wisselende getij-omstandigheden kan beter inzicht worden verkregen in de transportverschijnselen in relatie tot de stromingsomstandigheden. Een belangrijke voorwaarde hierbij is dat er een beproefde meetmethode wordt gebruikt.

Bij de aanzandingsberekeningen voor de cunetten in het tracé van de stormvloedkering zijn alleen de transportfuncties gebaseerd op de metingen van de Deltadienst Zierikzee gebruikt, omdat dit een relatief groot aantal metingen onder wisselende omstandigheden betreft.

Gezien het feit dat slechts ca. 50% van deze metingen ligt tussen 0,5 en 2 maal de berekende waarde volgens de gegeven transportrelaties (figuren 12 ... 17), moet aan deze relaties een beperkte nauwkeurigheid worden toegekend.

Figuur 18 geeft een beeld van de bijdrage van elke fraktie in het suspensie-transport als functie van de stroomsnelheid (alleen metingen Waterloopkundig Laboratorium). Alleen bij vertragende stroom is er enige invloed van de stroomsnelheid waar te nemen; bij hogere stroomsnelheden neemt de bijdrage van de grovere frakties enigszins toe. Zowel bij versnellende als vertragende stroom is de bijdrage van 105 - 210  $\mu\text{m}$  fraktie het grootst (ca. 60%).

6. Toetsing sediment transportformules

Alhoewel sedimenttransportformules veelal zijn afgeleid voor éénparige en permanente stromingsomstandigheden is het niettemin nuttig na te gaan in hoeverre deze formules van toepassing zijn in getij-omstandigheden. De toetsing omvat het vergelijken van het gemeten suspensietransport vermeerderd met het bodemtransport (vergelijking 5.2) met berekende waarden volgens een drietal formules. Dit zijn de drie "beste" formules volgens toetsingsonderzoek van het H.R.S. Wallingford [1], [7].

$$\text{ENGELUND-HANSEN: } s_t = \frac{0,05 \rho_s \bar{u}^5}{\Delta^2 g^{0,5} D_{50} C^3} \quad (6.1)$$

$$\text{ACKERS-WHITE : } s_t = K \rho_s D_{35} \frac{(\bar{u})^{n+1}}{(u_*)^n} \left( \frac{F}{F_{kr}} - 1 \right)^m \quad (6.2)$$

$$\text{ROTTNER : } s_t = \rho_s (\Delta g)^{0,5} h^{1,5} \left[ \left\{ 0,67 \left( \frac{D_{50}}{h} \right)^{0,67} + 0,14 \right\} \frac{\bar{u}}{(\Delta gh)^{0,5}} - 0,78 \left( \frac{D_{50}}{h} \right)^{0,67} \right] \quad (6.3)$$

waarin:

$s_t$  = totale sedimenttransport (kg/sm)

$\bar{u}$  = gemiddelde stroomsnelheid (m/s)

$\rho_s$  = dichtheid van het sediment (kg/m<sup>3</sup>)

$\Delta = \frac{\rho_s - \rho}{\rho}$  = specifieke dichtheid van het sediment onder water

$g$  = versnelling van de zwaartekracht (m/s<sup>2</sup>)

$C$  = koëfficiënt van Chézy (m<sup>0,5</sup>/s)

$D$  = korreldiameter van het sediment (m)

$h$  = waterdiepte (m)

$u_* = \frac{g^{0,5} \bar{u}}{C}$  = schuifspanningssnelheid (m/s)

$K = \exp \left[ 2,86 \ln(W_*) - 0,434 \{ \ln(W_*) \}^2 - 8,13 \right]$

$n = 1 - 0,56 \log(W_*)$

$1 < W_* \leq 60$

$$\left. \begin{aligned} m &= \frac{9,66}{W_*} + 1,34 \\ F_{kr} &= \frac{0,23}{W_*^{0,5}} + 0,14 \end{aligned} \right\} 1 < w_* \leq 60$$

$$\left. \begin{aligned} K &= 0,025 \\ n &= 0 \\ m &= 1,5 \\ F_{kr} &= 0,17 \end{aligned} \right\} w_* > 60$$

$$W_* = D_{35} \left( \frac{\Delta g}{\nu^2} \right)^{1/3} = \text{bezinkparameter}$$

$\nu$  = kinematische viskositeitscoëfficiënt (m<sup>2</sup>/s)

$$F = \frac{(u_*)^n}{(\Delta g D_{35})^{0,5}} \left[ \frac{\bar{u}}{5,66 \log \left( \frac{10 h}{D_{35}} \right)} \right]^{1-n}$$

In de figuren 19, 20 en 21 is de verhouding van het berekende en het gemeten sedimenttransport als functie van de stroomsnelheid weergegeven. De formule van Rottner heeft de beste voorspellende waarde. In ca. 60% van de gevallen ligt het berekende transport tussen  $\frac{1}{2}$  en 2 maal het gemeten transport, terwijl de spreiding relatief gering is. Voor de formules van Engelund-Hansen en Ackers-White gelden waarden van ca. 55% en 40%. Verder blijkt uit de figuren dat met name bij lage stroomsnelheden voor vertragende stroom het gemeten transport aanzienlijk groter is dan de berekende waarden, terwijl bij versnellende stroom juist het berekende transport groter is. Dit is het duidelijkst waar te nemen in figuur 21 (Rottner). Deze resultaten zijn eens te meer een (indirekte) aanduiding dat bij vertragende stroom het sedimenttransport groter is dan de evenwichtstransportkapaciteit en dat bij versnellende stroom het transport achterblijft bij de transportkapaciteit. Tenslotte kan nog worden waargenomen dat bij relatief lage stroomsnelheden de voorspellende waarde van de formules van Engelund-Hansen en Ackers-White sterk afneemt (grotere afwijkingen).

## LITERATUUR

- 1 Stormvloedkering Oosterschelde; Berekening aanzanding cunetten, Sedimenttransport in Estuaria, Waterloopkundig Laboratorium, nota R 1267-1, oktober 1977
- 2 Stormvloedkering Oosterschelde; Berekening aanzanding cunetten, Sedimenttransportmetingen in de Oosterschelde door het H.R.S. Wallingford (Engeland) en de Deltadienst Zierikzee, Waterloopkundig Laboratorium, nota R 1267-4, april 1978
- 3 Stormvloedkering Oosterschelde; Berekening aanzanding cunetten, Komputerprogramma van verwerken en toetsen van metingen van sedimenttransport (Sudata), Waterloopkundig Laboratorium, interim rapport R 1267-1, mei 1979
- 4 Stormvloedkering Oosterschelde; Berekening aanzanding cunetten; Bepaling bodemtransport uit het verplaatsen van de beddingvormen, Waterloopkundig Laboratorium, interim rapport R 1267-4, 1980
- 5 Storm Surge Barrier Oosterschelde  
Computation of Siltation in Dredged Trenches  
Mathematical Model  
Delft Hydraulics Laboratory, R 1267-V/M 1570, 1980
- 6 Pump-Filter Sampler, Design of an instrument for measuring suspended sand concentrations in tidal conditions, Delft Hydraulics Laboratory, S 404, June 1979
- 7 Sediment Transport: An Appraisal of Available Methods Hydraulic Research Station Wallingford, Int. Report 119, 1973

Datum	Plaats meetstation	Getijperiode	water-temperatuur
25 mei 1977	Sluitgat Hammen 1a,b; 2a,b; 3a,b; 4a,b; 5a,b	Vloed, eb	15° C
26 mei 1977	Sluitgat Schaar van Roggenplaat 1a,b; 2a,b; 3a,b; 4a,b; 5a,b	Vloed, eb	15° C
1 juni 1977	Sluitgat Roompot 1a,b; 2a,b; 3a,b; 4a,b; 5a,b	Vloed, eb	15° C
2 juni 1977	Sluitgat Roompot 1a,b; 2a,b; 3a,b; 4a,b; 5a,b	Vloed, eb	15° C
23 augustus 1977	Proefcunet Schaar van Roggen- plaat B 1,5,10	Vloed, eb	15° C
24 augustus 1977	Proefcunet Roompot B1,10	Vloed, eb	15° C
29 november 1977	Proefcunet Roompot B1,5,10	Vloed	5° C
30 november 1977	Proefcunet Schaar van Roggen- plaat B1,5,10	Vloed	5° C
6 december 1977	Proefcunet Schaar van Roggen- plaat B1,5,10	Eb	5° C
7 december 1977	Proefcunet Roompot B1,5,10	Eb	5° C
11 april 1978	Proefcunet Schaar van Roggen- plaat B1,5,10 B5,10	Eb Vloed	10° C 10° C
12 april 1978	Proefcunet Roompot B1,5,10	Vloed	10° C
13 april 1978	Proefcunet Roompot B1,5,10	Eb	10° C
7 september 1978	Sluitgat Roompot 3a,b	Vloed, eb	15° C
8 september 1978	Sluitgat Hammen 3a,b	Vloed, eb	15° C
19 september 1978	Sluitgat Schaar van Roggen- plaat, 3a,b	Vloed, eb	15° C

Tabel 1. Overzicht sedimenttransportmetingen



Datum	Plaats meetstations	Bemonsteringsmethode	Analyse-methode
9 september 1977	Proefcunet Schaar van Roggenplaat meetstation A 10	grijper	zeven
9 september 1977	Proefcunet Roompot meetstation A 10 B 1 ... 11 C 1 ... 11	grijper	zeven
3 november 1977	Proefcunet Roompot meetstation A 1 ... 11 B 1 ... 11 C 1 ... 11	grijper	zeven
5 december 1977	Proefcunet Schaar van Roggenplaat meetstation A 1 ... 11 B 1 ... 11 C 1 ... 11	grijper	zeven
9 februari 1978	Proefcunet Schaar van Roggenplaat meetstation B 7 C3,C4,C5,C7	valbom	zeven
10 februari 1978	Proefcunet Schaar van Roggenplaat meetstation B 3 ... 6	valbom	zeven
13 februari 1978	Proefcunet Roompot meetstation A 3 ... 7 B 3 ... 7	valbom	zeven

Tabel 2. Overzicht bodemmonsters

meet- station	Datum	KARAKTERISTIEKE KORRELDIAMETERS			ZANDFRAKTIES IN %			
		D <sub>10</sub> ( $\mu\text{m}$ )	D <sub>50</sub> ( $\mu\text{m}$ )	D <sub>90</sub> ( $\mu\text{m}$ )	50-105 $\mu\text{m}$	105-210 $\mu\text{m}$	210-240 $\mu\text{m}$	420-600 $\mu\text{m}$
B2	9 september 1977	240	335	440	0	5	80	15
	3 november 1977	250	340	450	0	3	81	16
	13 februari 1978	-	-	-	-	-	-	-
B3	9 september 1977	240	335	440	0	4	81	15
	3 november 1977	150	225	320	0,5	40	58	1
	13 februari 1978	260	380	540	0	3	65	32
B4	9 september 1977	240	335	410	0	4	84	12
	3 november 1977	155	260	360	0,5	24	73	2
	13 februari 1978	140	260	390	0,5	26	70	3
B5	9 september 1977	160	320	470	0,5	13	70	16
	3 november 1977	140	230	330	2	35	61	2
	13 februari 1978	140	270	390	1	25	71	3
B6	9 september 1977	260	360	470	0	2	77	21
	3 november 1977	170	225	300	0,5	28	71	0,5
	13 februari 1978	130	240	380	2	31	65	1
B7	9 september 1977	210	325	450	0	9	76	15
	3 november 1977	160	235	300	0,5	28	71	0,5
	13 februari 1978	110	230	360	3	40	55	1
B8	9 september 1977	210	280	370	0	12	84	4
	3 november 1977	180	260	360	0,5	23	75	1
	13 februari 1978	-	-	-	-	-	-	-

Tabel 3. Samenstelling bedmateriaal proefcunet Roompot.

Meet- station	Datum	KARAKTERISTIEKE KORRELDIAMETERS			ZANDFRAKTIES IN %			
		D <sub>10</sub> ( $\mu\text{m}$ )	D <sub>50</sub> ( $\mu\text{m}$ )	D <sub>90</sub> ( $\mu\text{m}$ )	50-105 $\mu\text{m}$	105-210 $\mu\text{m}$	210-420 $\mu\text{m}$	420-600 $\mu\text{m}$
B2	5 december 1977	210	295	400	0,2	7	85	7
	9-10 febr. 1978	-	-	-	-	-	-	-
B3	5 december 1977	210	285	380	0,2	9	87	3
	9-10 febr. 1978	170	250	360	0,5	16	80	3
B4	5 december 1977	210	280	380	0,2	9	85	5
	9-10 febr. 1978	180	270	420	0,5	15	74	10
B5	5 december 1977	170	250	330	0,4	18	80	1
	9-10 febr. 1978	180	260	380	0,5	15	81	3
B6	5 december 1977	190	265	350	0,2	15	83	1
	9-10 febr. 1978	210	270	380	0,5	9	88	2
B7	5 december 1977	250	335	430	0	2	86	12
	9-10 febr. 1978	190	280	410	0,5	12	80	7
B8	5 december 1977	240	330	450	0	3	83	14
	9-10 febr. 1978	-	-	-	-	-	-	-

Tabel 4. Samenstelling bedmateriaal proefcunet Schaar van Roggenplaat

Gemiddelde stroomsnel- heid (m/s)	Hoogte boven het bed (m)	Korrel- diameter	Zandfractie in %		
		D <sub>50</sub> (µm)	50-105 µm	105-210 µm	210-420 µm
0 - 1	≤ 1,0	≈ 150	10	70	20
	> 1,0	≈ 120	20	70	10
1 - 1,5	≤ 1,0	≈ 210	10	50	40
	> 1,0	≈ 150	20	60	20

Bezinkproeven met sedimentmonsters verzameld door Deltadienst Zierikzee (metingen november en december 1977).

Gemiddelde stroomsnel- heid (m/s)	Hoogte boven het bed (m)	Korrel- diameter	Zandfractie in %		
		D <sub>50</sub> (µm)	50-105 µm	105-210 µm	210-420 µm
0 - 1	≤ 1,0	≈ 140	20	60	20
	> 1,0	≈ 120	30	60	10
1 - 1,5	≤ 1,0	≈ 180	10	60	30
	> 1,0	≈ 140	20	70	10

Zeefproeven met sedimentmonsters verzameld door Waterloopkundig Laboratorium (meting september 1978).

Tabel 5. Samenstelling gesuspendeerd sediment

Meetstation = Roompot 3a,b

Datum = 7 september 1978

	Tijd (uren)	Gemiddelde stroomsnelheid (m/s)	Waterdiepte	Suspensie-transport (kg/sm)	Bodem-transport (kg/sm)	Totaal transport (kg/sm)
eb	8.00	1,10	20,0	1,82	0,08	1,90
	8.30	0,97	21,0	1,25	0,05	1,30
	9.00	0,91	19,0	0,95	0,04	0,99
	9.30	0,88	18,5	0,74	0,04	0,78
	10.00	0,67	17,5	0,24	0,02	0,26
	10.30	0,49	17,5	0,09	0,01	0,10
vloed	13.30	0,47	20,0	0,01	0	0,01
	14.00	0,58	20,5	0,02	0,01	0,03
	14.30	0,73	20,5	0,07	0,02	0,09
	15.00	0,81	21,0	0,10	0,03	0,13
	15.30	1,0	22,0	0,30	0,06	0,36
	16.00	1,16	22,5	0,88	0,09	0,97
	16.30	1,14	23,0	0,60	0,09	0,69
	17.00	0,85	23,5	0,44	0,04	0,48
	17.30	0,53	23,5	0,05	0,01	0,06
	18.00	0,26	23,5	0,01	0	0,01

Tabel 6. Overzicht gemeten sedimenttransport, september 1978

Meetstation = Roompot 3a,b

Datum = 7 september 1978

	Tijd (uren)	Gemiddelde stroomsnelheid (m/s)	Waterdiepte	Suspensie-transport (kg/sm)	Bodem-transport (kg/sm)	Totaal transport (kg/sm)
eb	8.00	1,10	20,0	1,82	0,08	1,90
	8.30	0,97	21,0	1,25	0,05	1,30
	9.00	0,91	19,0	0,95	0,04	0,99
	9.30	0,88	18,5	0,74	0,04	0,78
	10.00	0,67	17,5	0,24	0,02	0,26
	10.30	0,49	17,5	0,09	0,01	0,10
vloed	13.30	0,47	20,0	0,01	0	0,01
	14.00	0,58	20,5	0,02	0,01	0,03
	14.30	0,73	20,5	0,07	0,02	0,09
	15.00	0,81	21,0	0,10	0,03	0,13
	15.30	1,0	22,0	0,30	0,06	0,36
	16.00	1,16	22,5	0,88	0,09	0,97
	16.30	1,14	23,0	0,60	0,09	0,69
	17.00	0,85	23,5	0,44	0,04	0,48
	17.30	0,53	23,5	0,05	0,01	0,06
	18.00	0,26	23,5	0,01	0	0,01

Tabel 6. Overzicht gemeten sedimenttransport, september 1978

Meetstation = Hammen 3a, b

Datum = 8 september 1978

	Tijd (uren)	Gemiddelde stroomsnelheid (m/s)	Waterdiepte	Suspensie-transport (kg/sm)	Bodem-transport (kg/sm)	Totaal-transport (kg/sm)
Eb	8.00	0,78	22,0	0,08	0,03	0,11
	8.30	1,11	22,0	0,25	0,09	0,34
	9.00	1,09	21,5	0,46	0,08	0,54
	9.30	0,97	21,0	0,51	0,06	0,57
	10.00	0,83	20,5	0,21	0,03	0,24
	10.30	0,70	20,5	0,08	0,02	0,10
	11.00	0,70	19,5	0,10	0,02	0,12
	11.30	0,52	20,0	0,02	0,01	0,03
Vloed	13.30	0,39	23,0	0,02	0	0,02
	14.00	0,48	23,5	0,02	0,01	0,03
	14.30	0,52	23,5	0,02	0,01	0,02
	15.00	0,63	24,0	0,03	0,02	0,05
	15.30	0,71	24,5	0,10	0,02	0,12
	16.00	0,91	25,0	0,32	0,05	0,37
	16.30	1,16	26,0	1,10	0,10	1,20
	17.00	1,07	26,5	1,19	0,08	1,27
	17.30	0,87	26,0	0,47	0,04	0,51
	18.00	0,70	25,0	0,07	0,02	0,09

Tabel 7. Overzicht gemeten sedimenttransport, september 1978

Meetstation = Schaar van Roggenplaat 3a, b

Datum = 19 september 1978

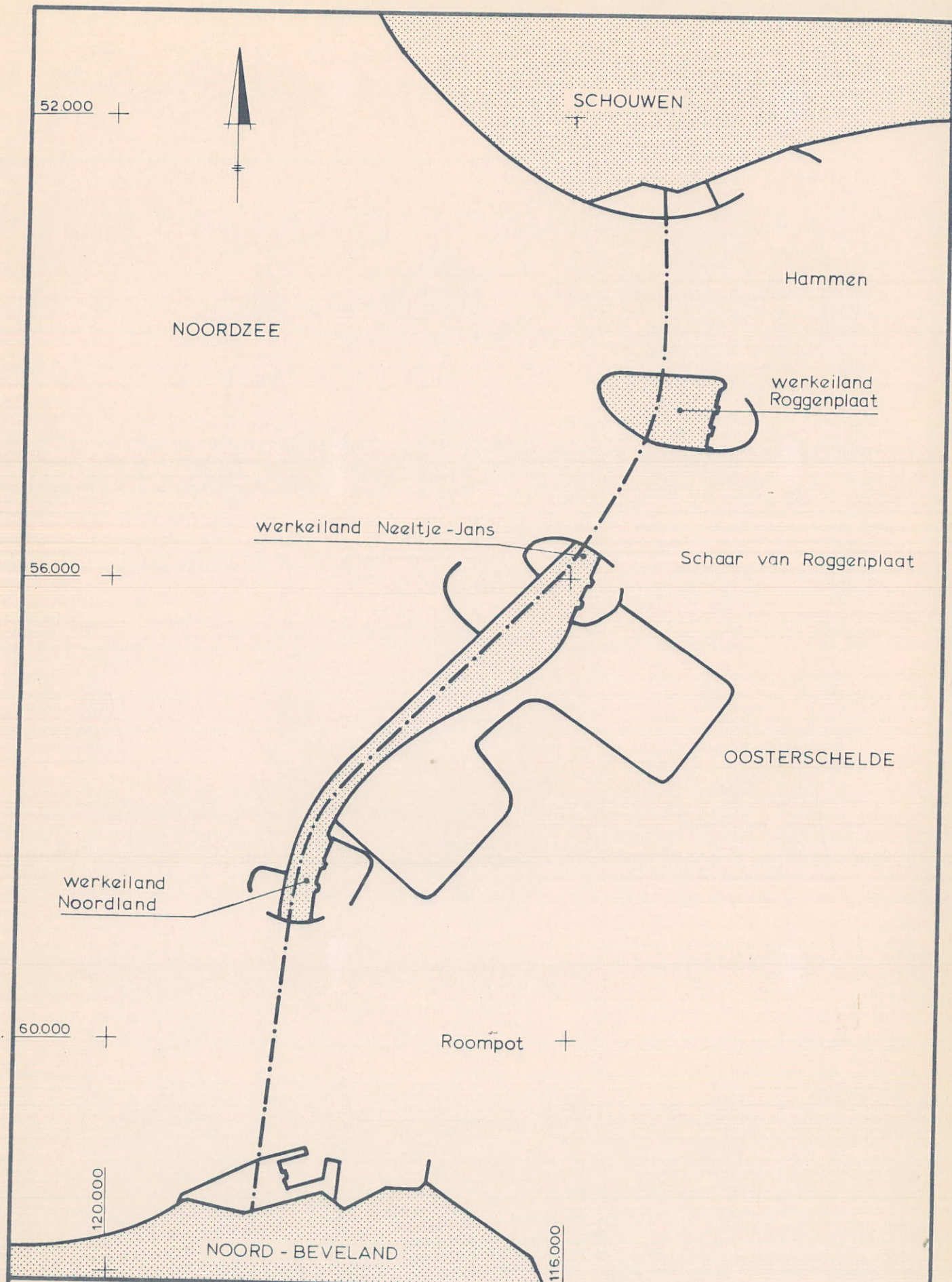
	Tijd (uren)	Gemiddelde stroomsnel- heid (m/s)	Water- diepte	Suspensie transport (kg/sm)	Bodem- transport (kg/sm)	Totaal- transport (kg/sm)
Eb	7.00	1,39	24,0	1,55	0,16	1,71
	7.30	1,31	22,0	1,32	0,14	1,46
	8.00	1,27	22,0	1,35	0,13	1,48
	8.30	1,14	21,5	0,68	0,09	0,77
	9.00	0,94	19,5	0,48	0,05	0,53
	9.30	0,72	19,5	0,14	0,02	0,16
Vloed	12.30	0,62	19,2	0,08	0,01	0,09
	13.00	0,57	19,3	0,04	0,01	0,05
	13.30	0,53	19,5	0,05	0,01	0,06
	14.00	0,56	19,5	0,14	0,01	0,15
	14.30	0,80	19,5	0,23	0,03	0,26
	15.00	0,95	20,5	0,94	0,05	0,99
	15.30	0,88	21,5	1,27	0,04	1,31
	16.00	0,66	22,0	0,63	0,02	0,65
	16.30	0,39	22,0	0,09	0	0,11

Tabel 8. Overzicht gemeten sedimenttransport, september 1978



		Suspensietransport (kg/ms)	
		Metingen Deltadienst Zierikzee (mei, juni, augustus, november, december 1977 en april 1978)	Metingen Waterloopkundig Laboratorium (september 1978)
Hammen	versnellende stroom	$s_s = 0,2 \bar{u}^{4,8}$	$s_s = 0,45 \bar{u}^{4,4}$
	vertragende stroom	$s_s = 0,45 \bar{u}^{5,1}$	$s_s = 0,43 \bar{u}^{4,8}$
Schaar van Roggenplaat	versnellende stroom	$s_s = 0,11 \bar{u}^{5,5}$	$s_s = 0,9 \bar{u}^{4,6}$
	vertragende stroom	$s_s = 0,19 \bar{u}^{2,9}$	$s_s = 0,75 \bar{u}^{2,1}$
Roompot	versnellende stroom	$s_s = 0,11 \bar{u}^4$	$s_s = 0,34 \bar{u}^{5,2}$
	vertragende stroom	$s_s = 0,16 \bar{u}^{2,6}$	$s_s = 0,9 \bar{u}^{3,5}$

Tabel 9. Overzicht suspensietransportfuncties

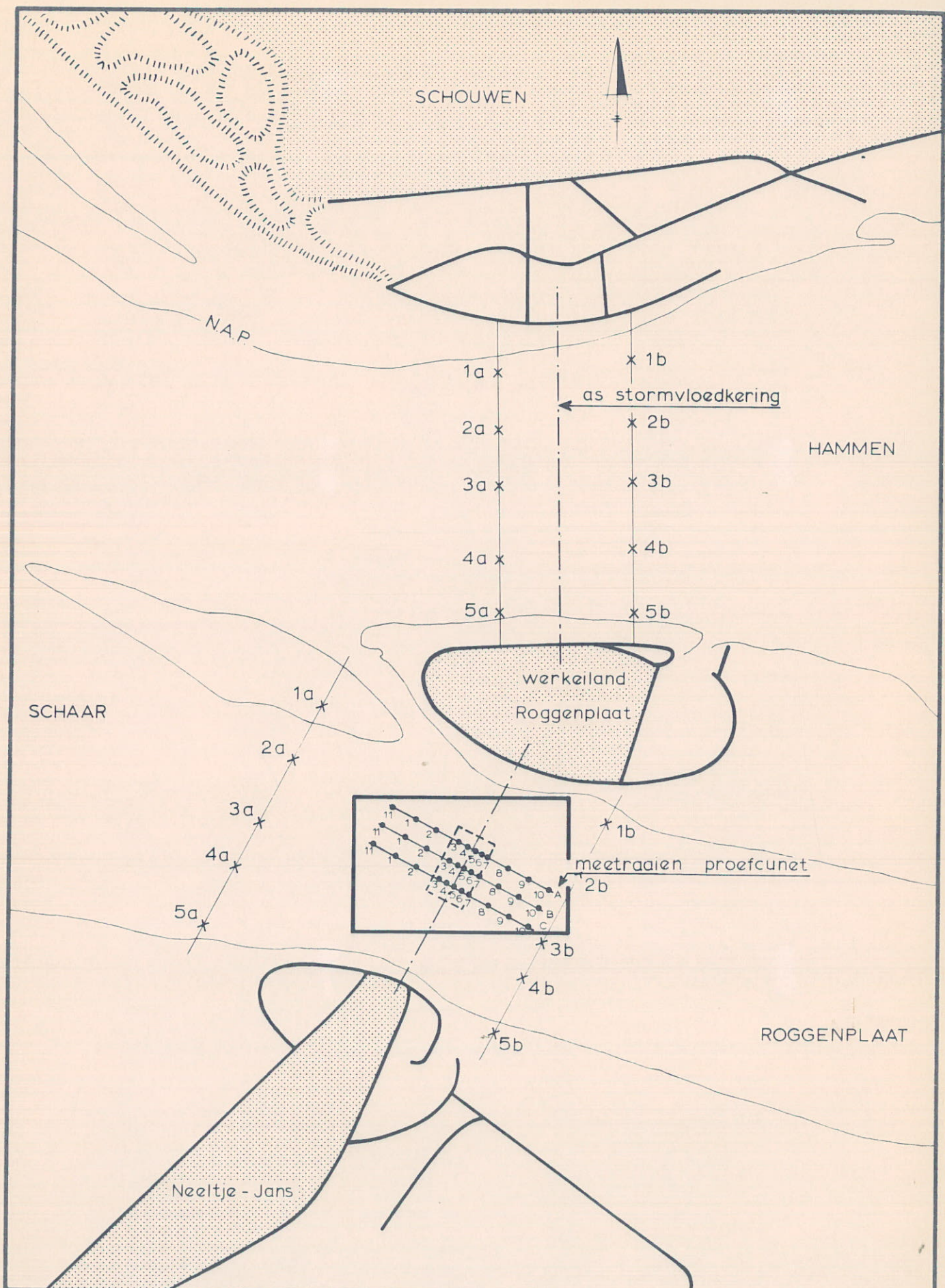


OVERZICHT SLUITGATEN OOSTERSCHELDE

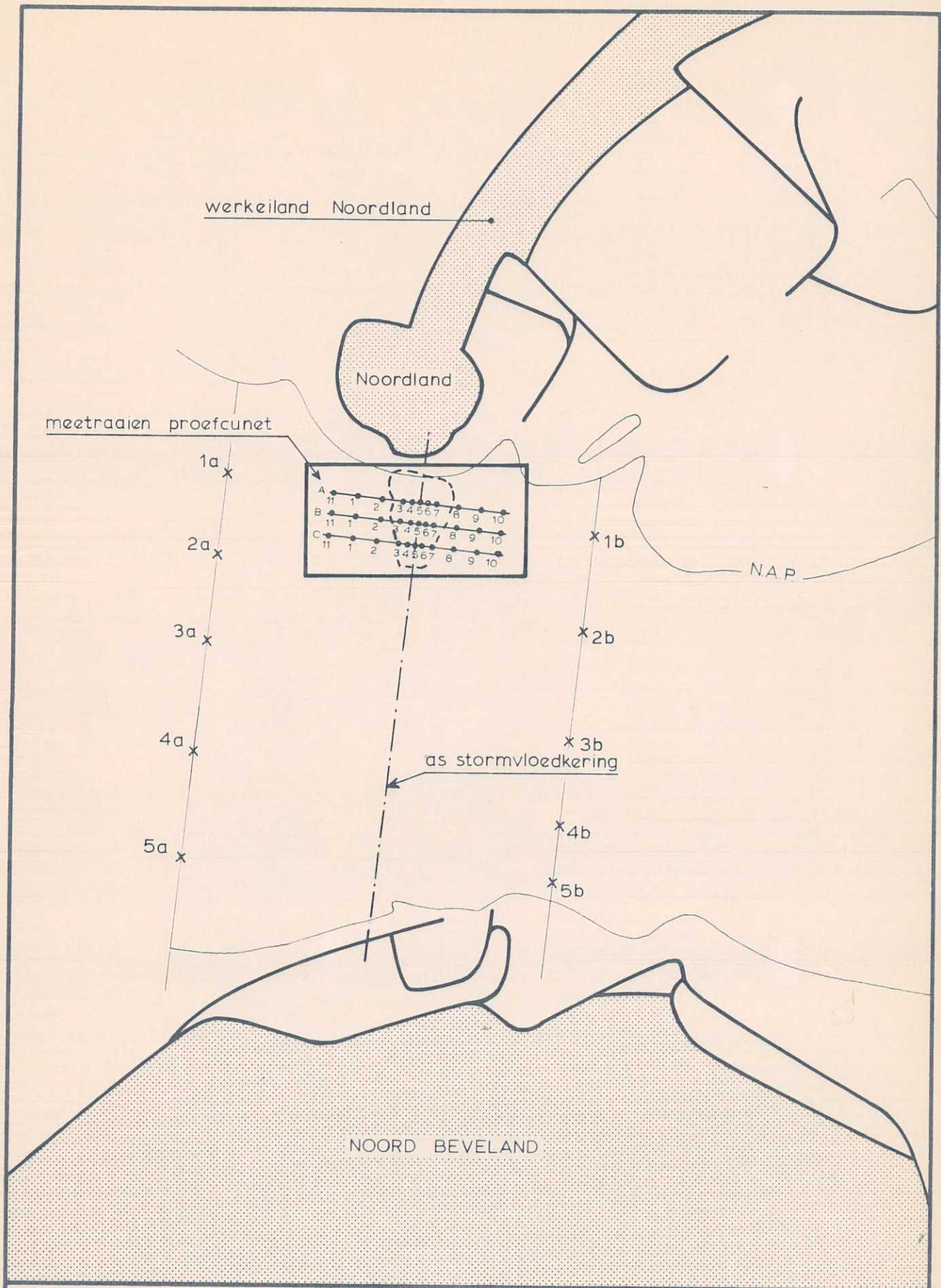
WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

R1267IV/M1572

FIG. 1



POSITIE MEETSTATIONS HAMMEN EN SCHAAR VAN ROGGENPLAAT		
	SCHAAL 1:20.000	
WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM	R1267:IV/M1572	FIG. 2

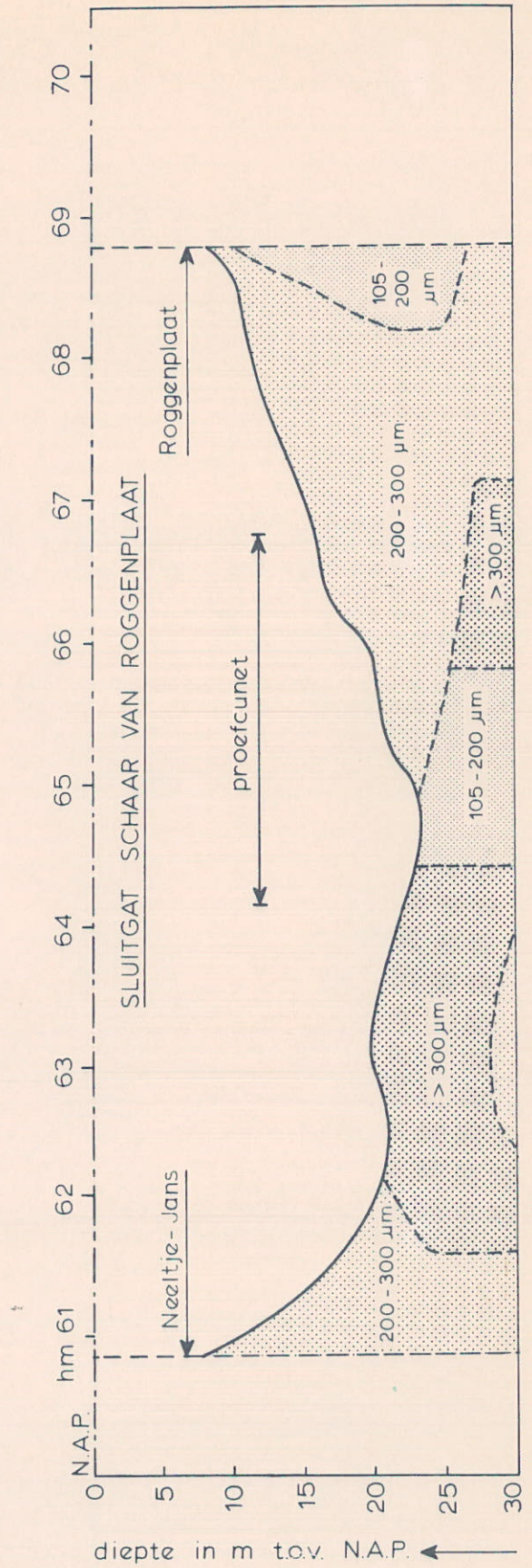
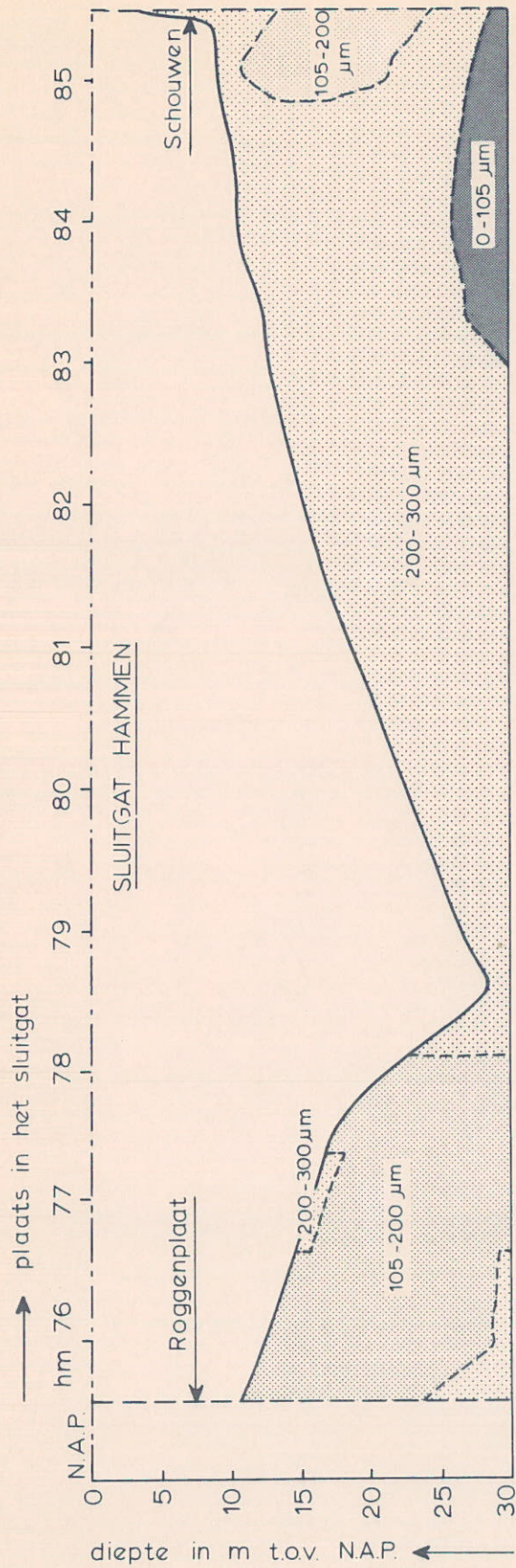


POSITIE MEETSTATIONS ROOMPOT

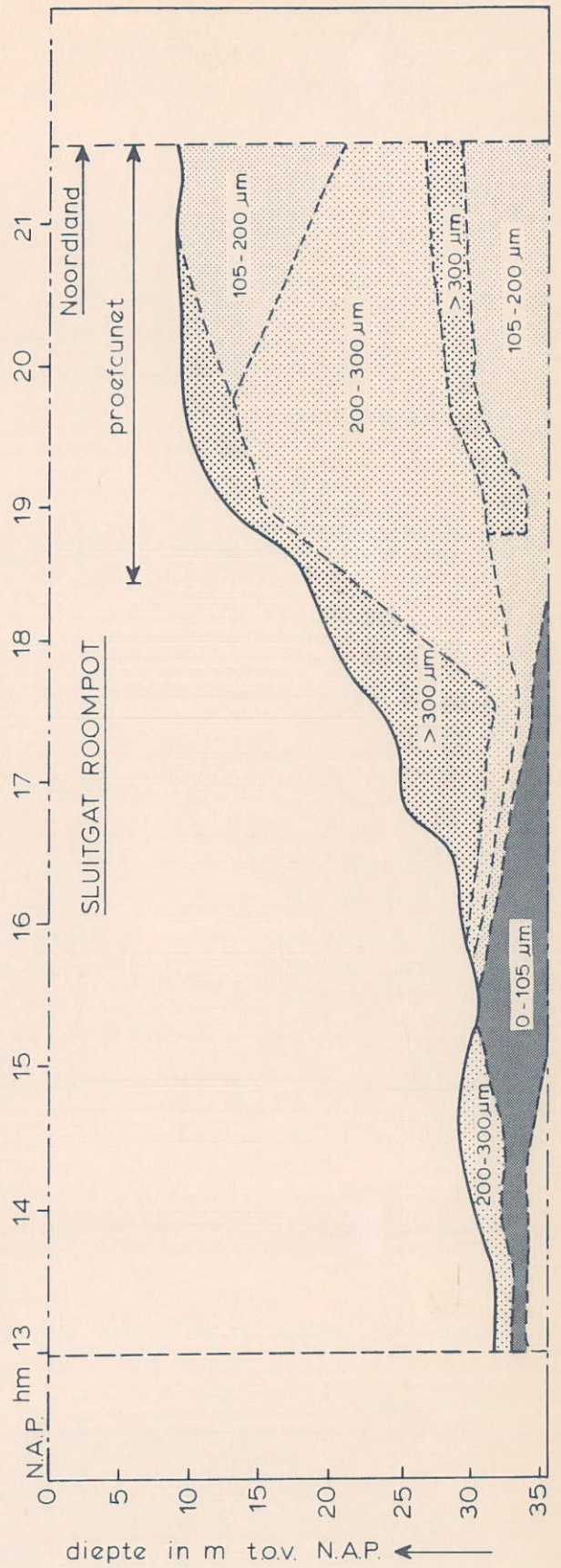
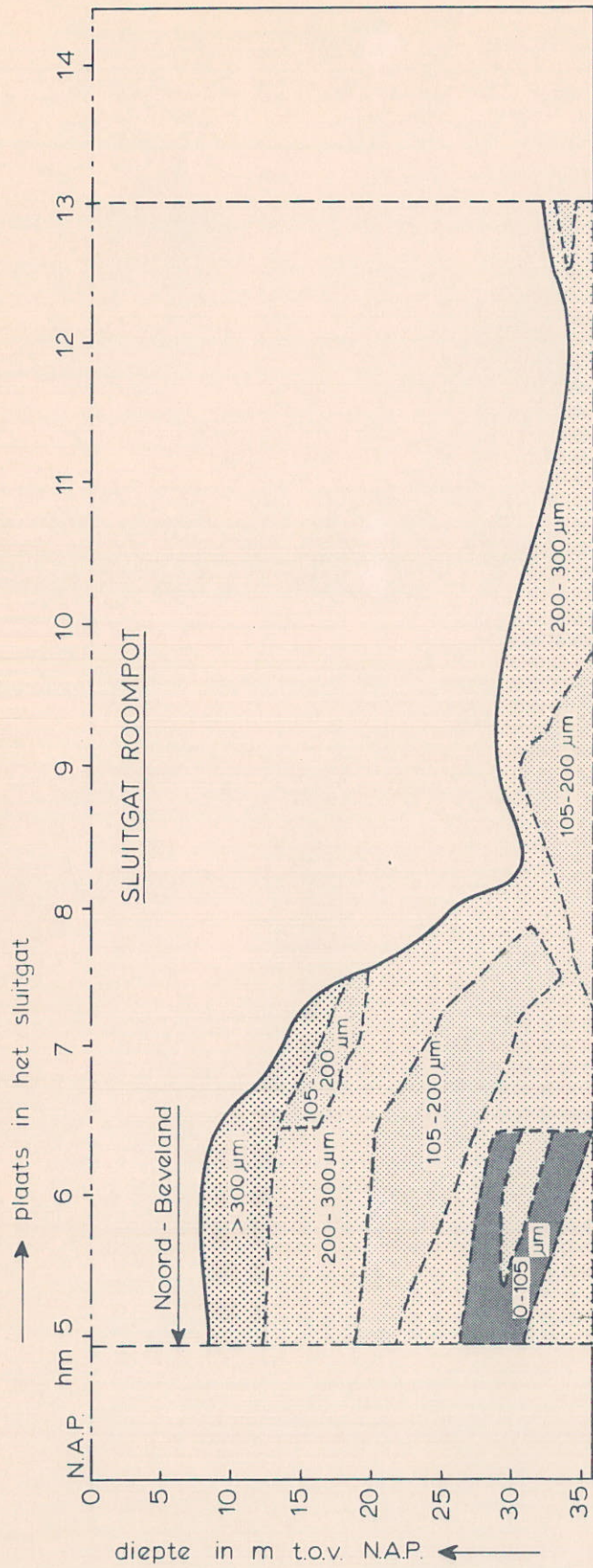
SCHAAL 1:20.000

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

R1267-IV/M1572 FIG. 3



SAMENSTELLING BEDMATERIAAL HAMMEN  
EN SCHAAR VAN ROGGENPLAAT

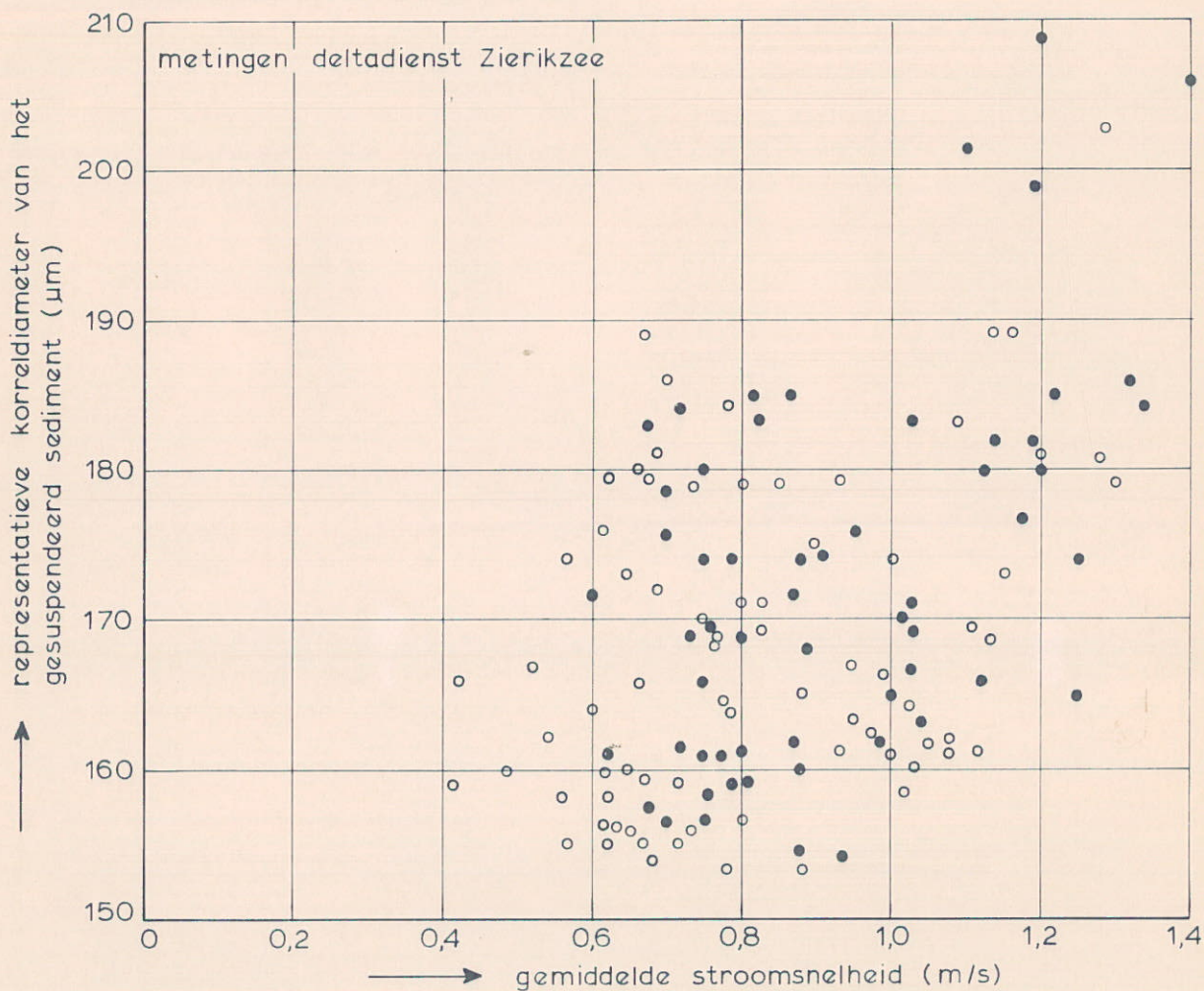
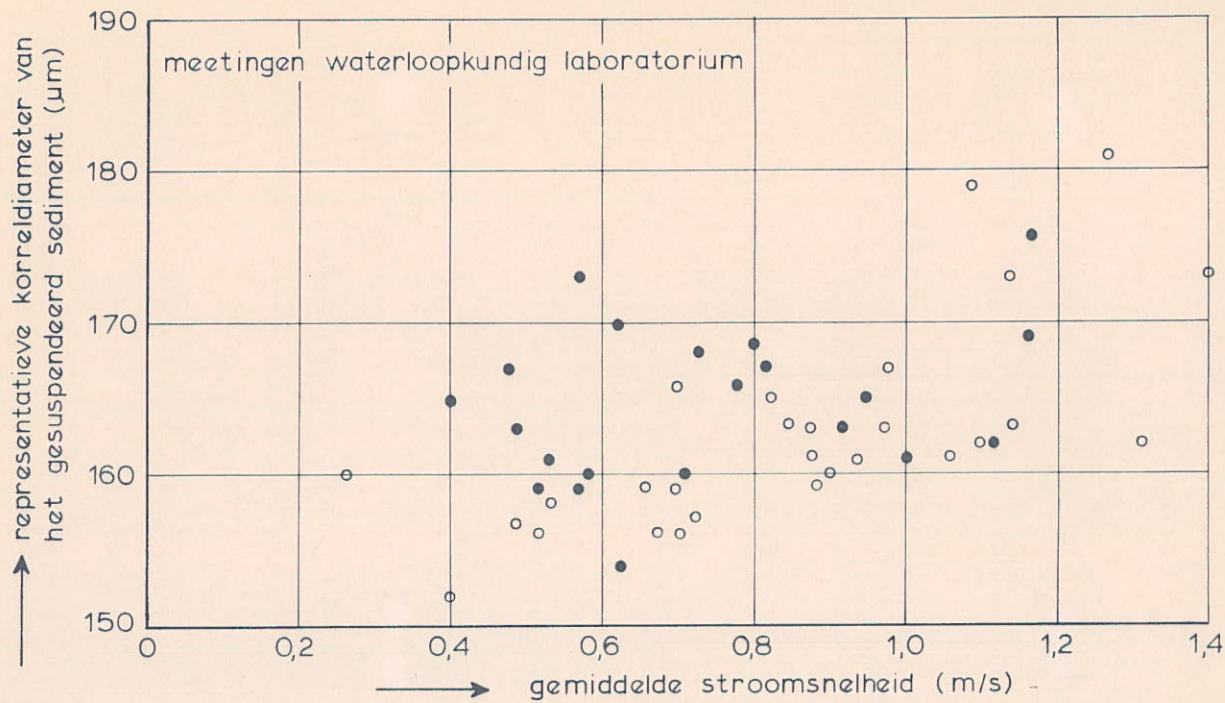


SAMENSTELLING BEDMATERIAAL ROOMPOT

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

R1267-IV/M1572

FIG. 5



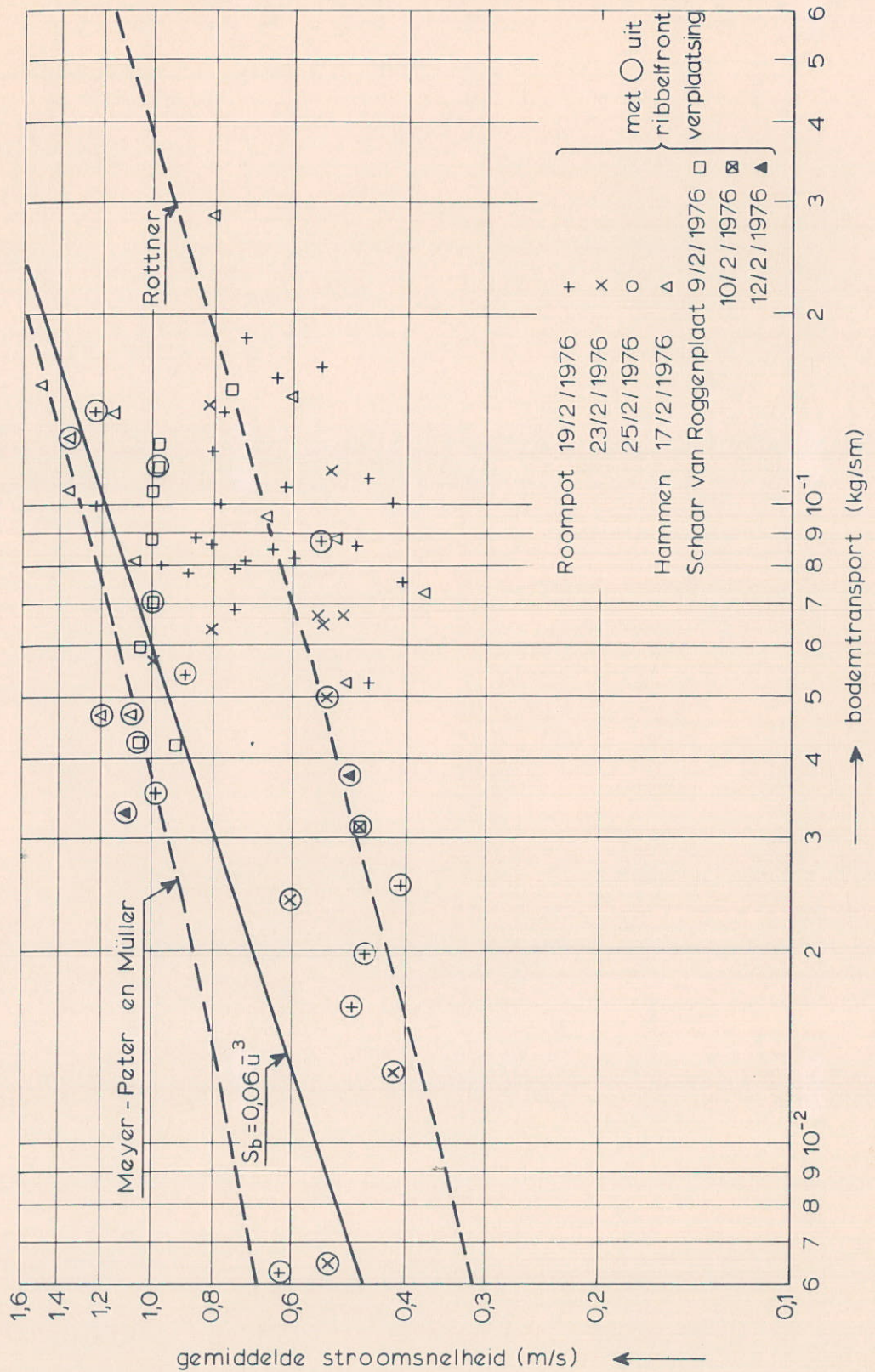
- versnellende stroom
- vertragende stroom

REPRESENTATIEVE KORRELDIAMETER  
GESUSPENDEERD SEDIMENT

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

R1267-IV/M1572

FIG. 6



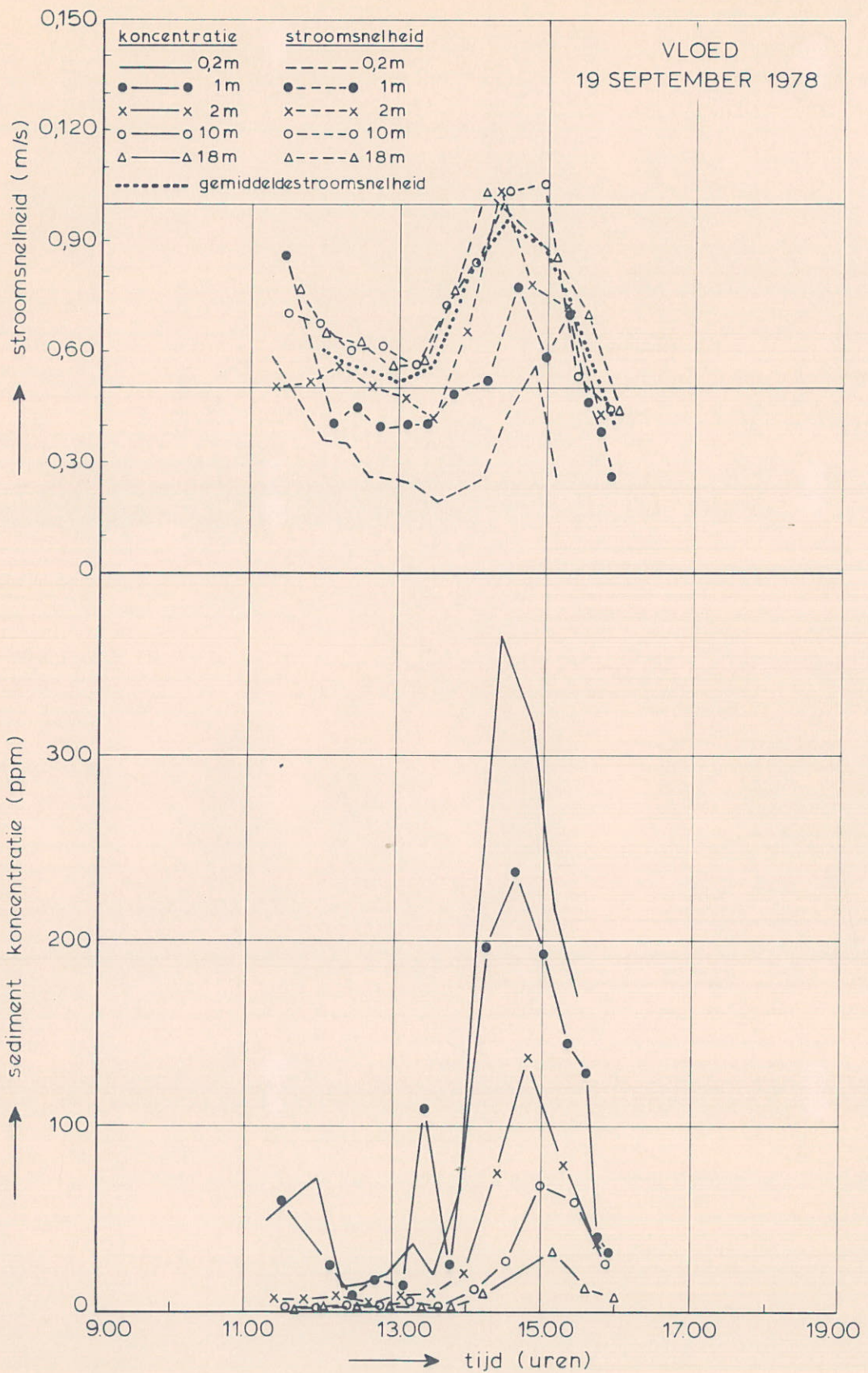
BODEMTRANSPORT OOSTERSCHELDE

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

R1267-IV/M1572

FIG. 7



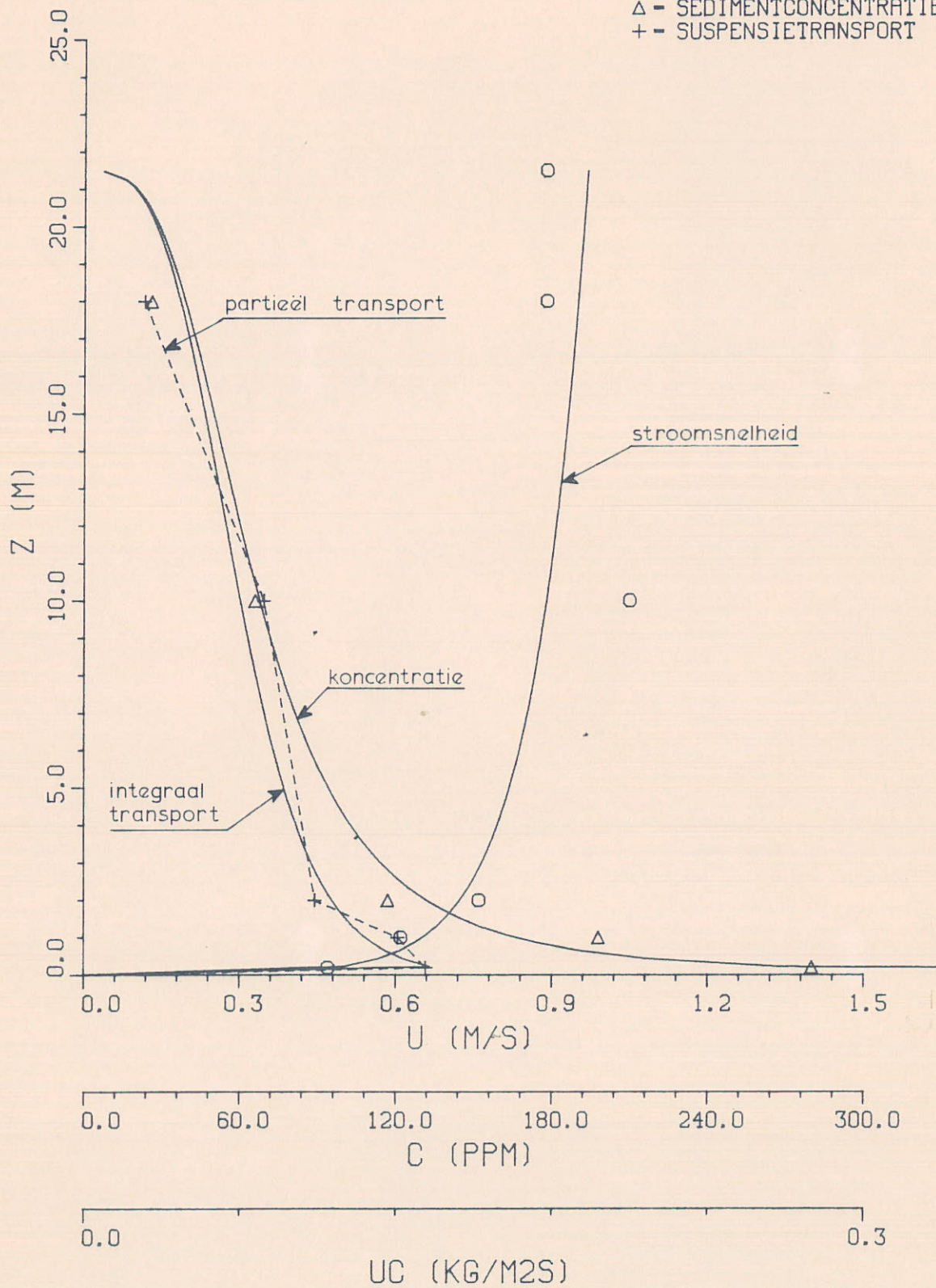


VERLOOP STROOMSNELHEDEN EN KONCENTRATIES,  
MEETSTATION 3, SCHAAR VAN ROGGENPLAAT

VLOED T= 15.30 - 16.00 UUR, 19 SEPTEMBER 1978

LEGEND

- - STROOMSNELHEID
- △ - SEDIMENTCONCENTRATIE
- + - SUSPENSIE-TRANSPORT



STROOMSNELHEIDS- EN KONCENTRATIE VERTIKALEN STATION 3, SCHAAR VAN ROGGENPLAAT

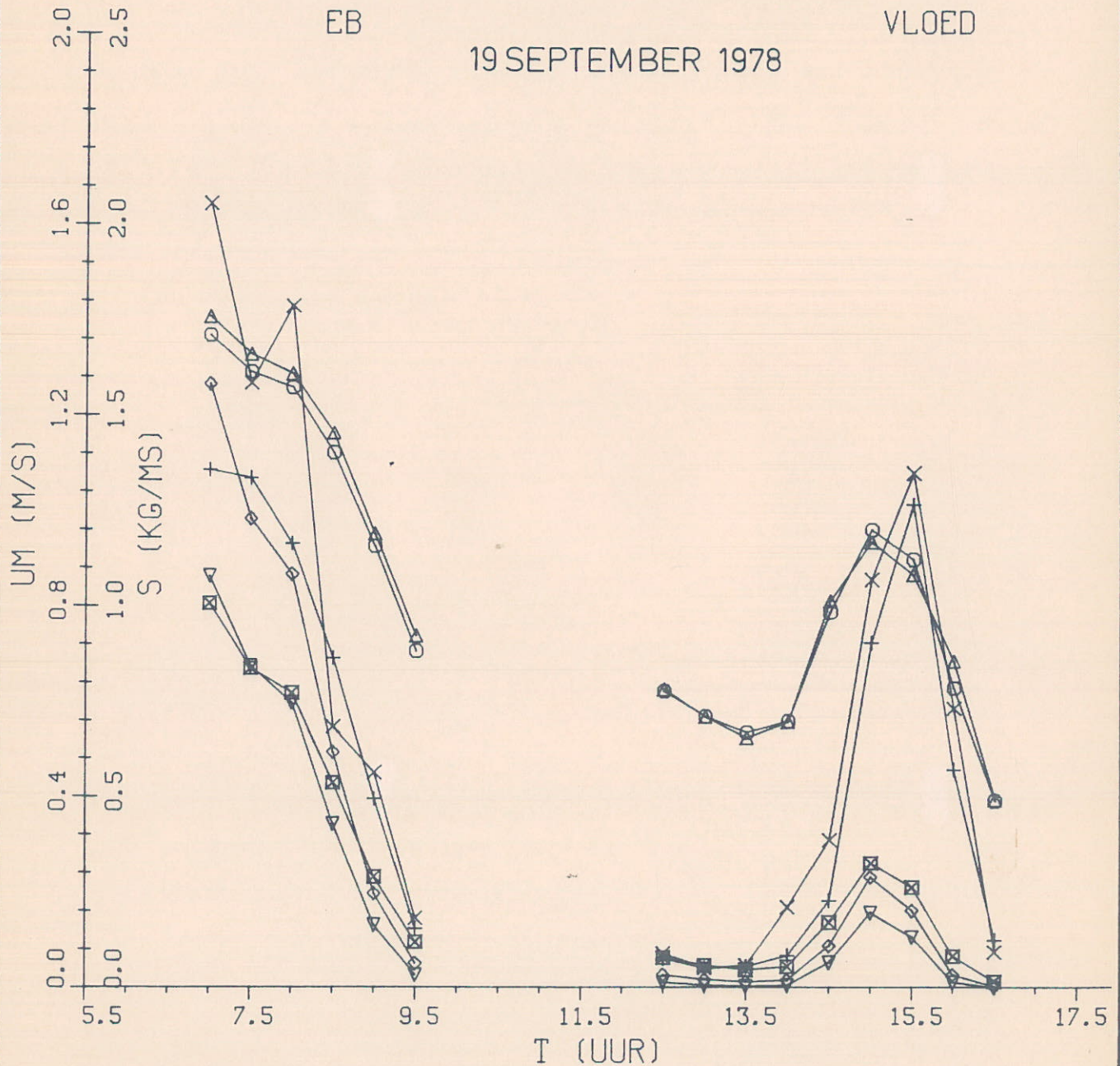
WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

R1267-IV/M1572

FIG. 9

### LEGEND

- - GEMIDDELDE STROOMSNELHEID (PARTIEEL)
- △ - GEMIDDELDE STROOMSNELHEID (INTEGRAAL)
- + - TOTAAL SUSPENSIE-TRANSPORT + BODEMTRANSPORT (PARTIEEL)
- × - TOTAAL SUSPENSIE-TRANSPORT + BODEMTRANSPORT (INTEGRAAL)
- ◇ - TOTAALTRANSPORT (ENGELUND)
- ▽ - TOTAALTRANSPORT (ACKERS-WHITE)
- ⊠ - TOTAALTRANSPORT (ROTTNER)

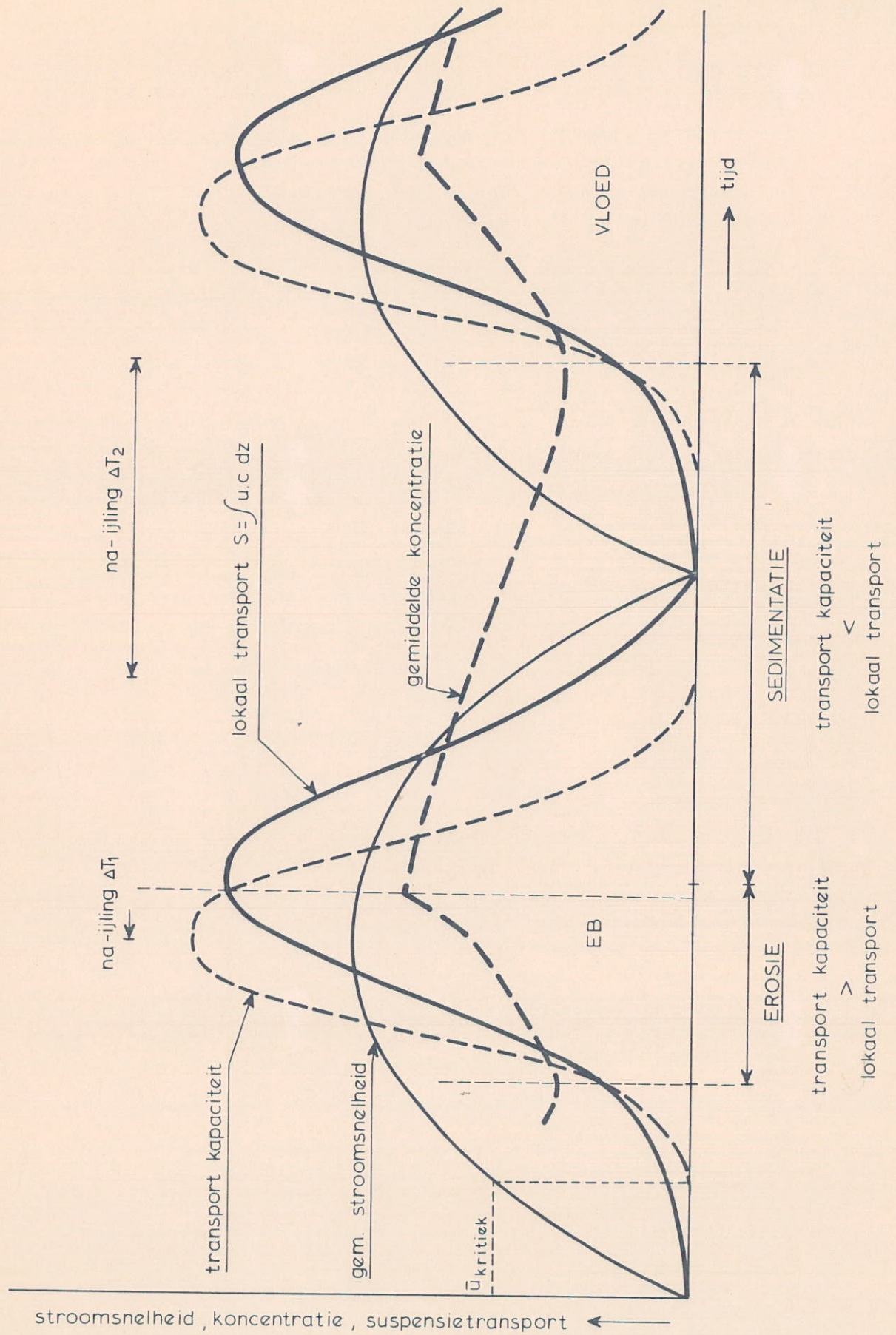


VERLOOP GEMIDDELDE STROOMSNELHEID EN  
SEDIMENTTRANSPORT, MEETSTATION 3,  
SCHAAR VAN ROGGENPLAAT

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

R1267-IV/M1572

FIG. 10

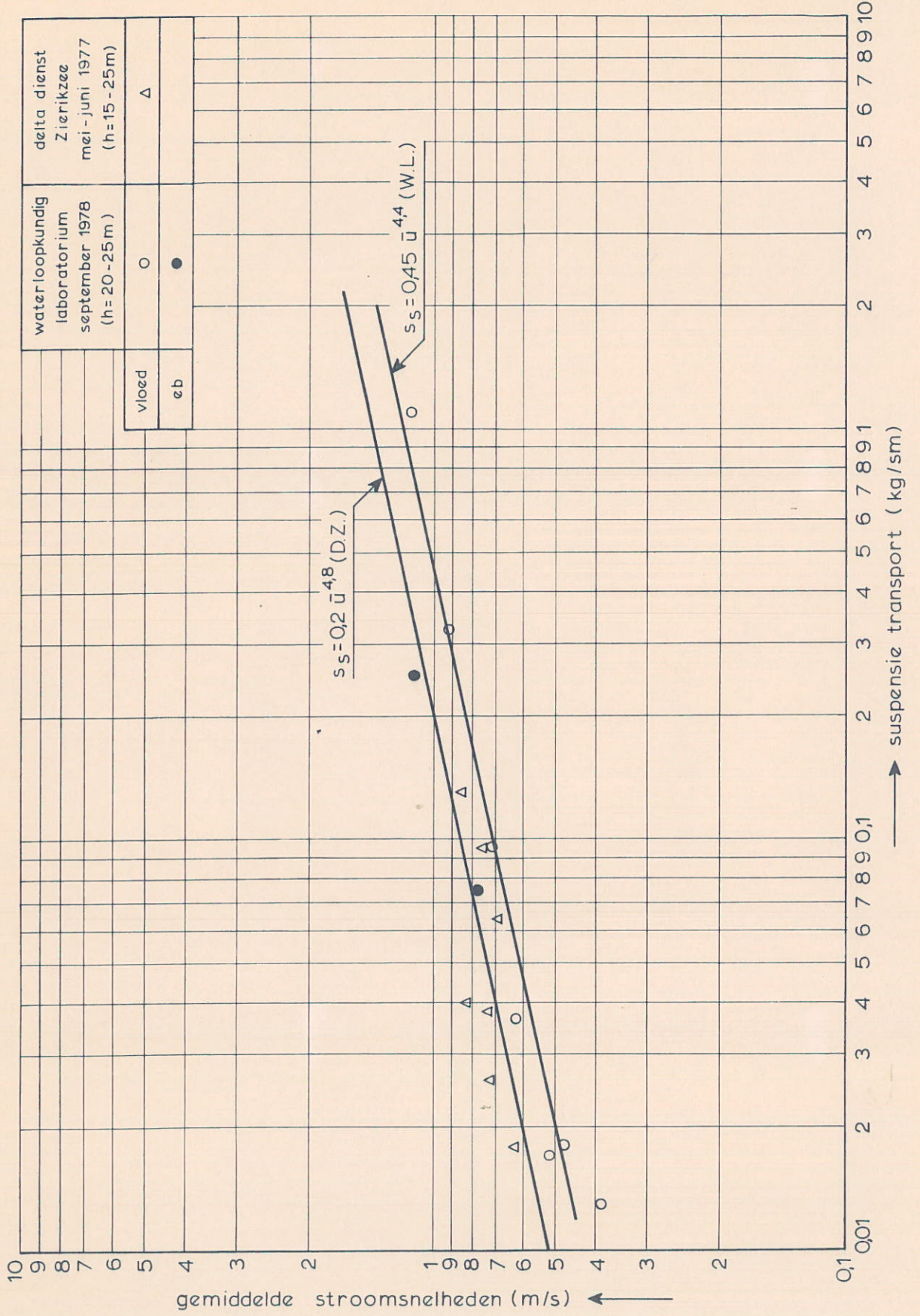


NA-IJLING SEDIMENTTRANSPORT IN GETUJSTROMING

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

R1267-IV/M1572

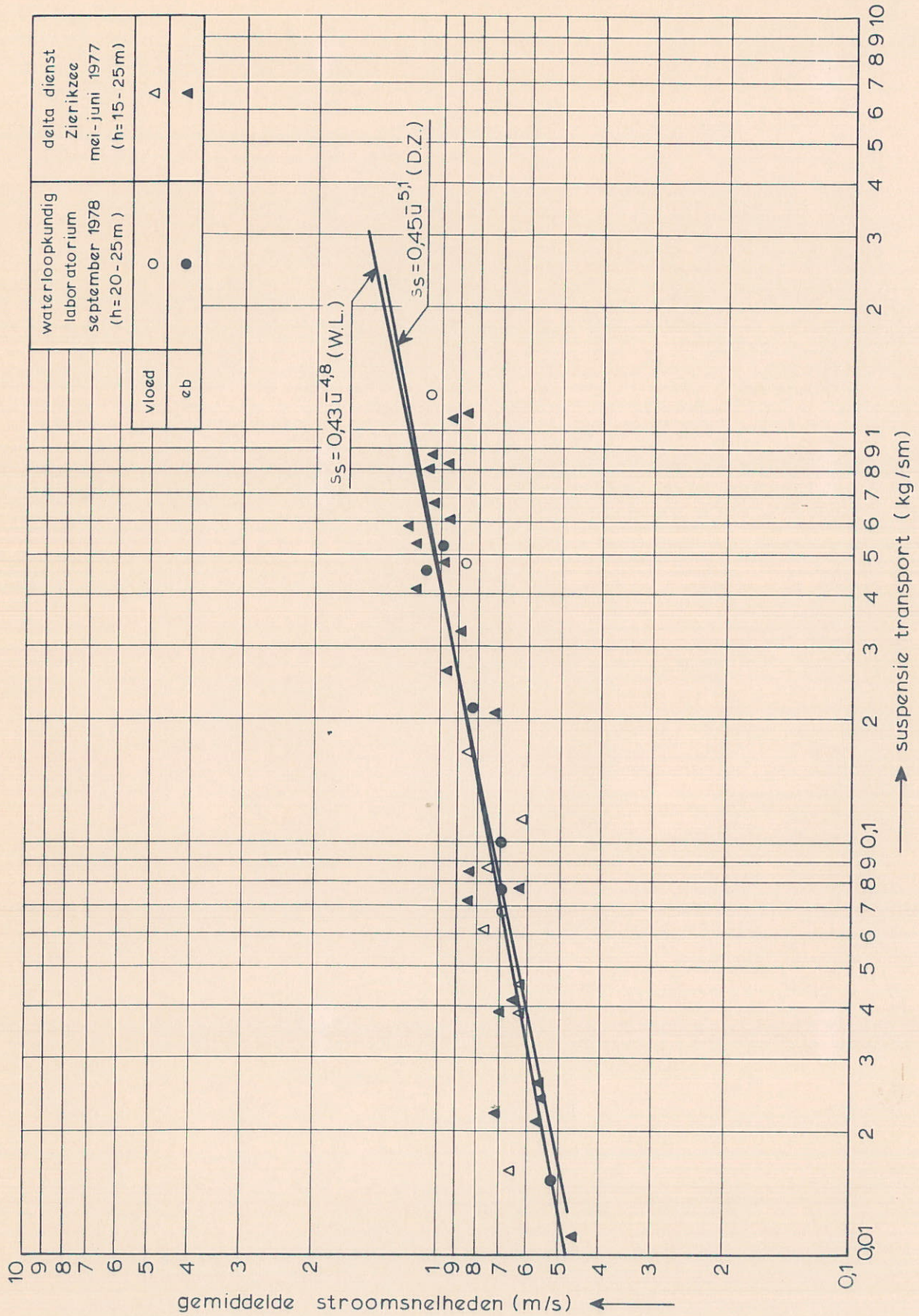
FIG. 11



SEDIMENTTRANSPORTFUNKTIE HAMMEN,  
 VERSNELLENDE STROOM

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

R1267-IV/M1572 FIG. 12

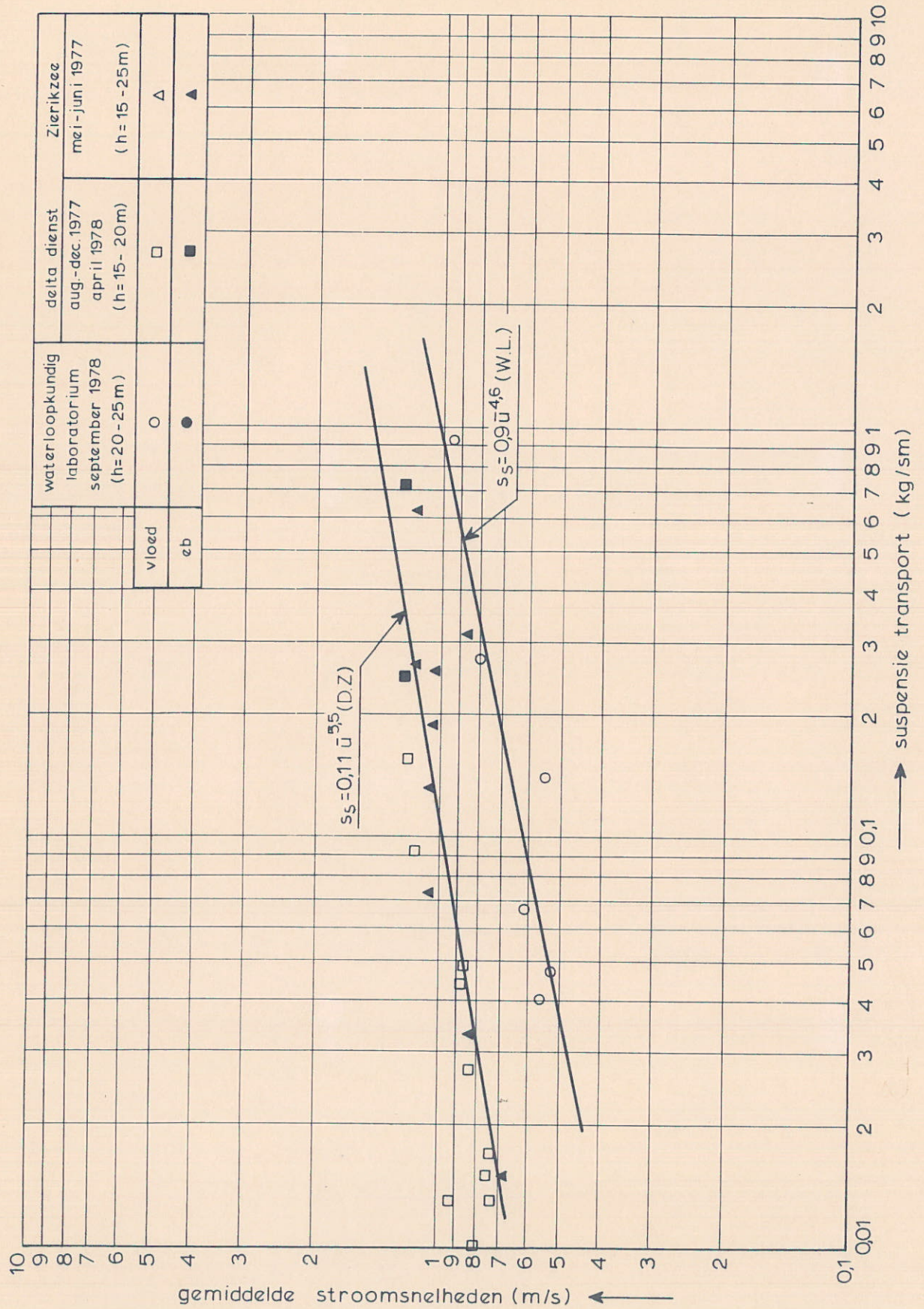


SEDIMENTTRANSPORTFUNCTIE HAMMEN,  
 VERTRAGENDE STROOM

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

R1267/V/M1572

FIG. 13

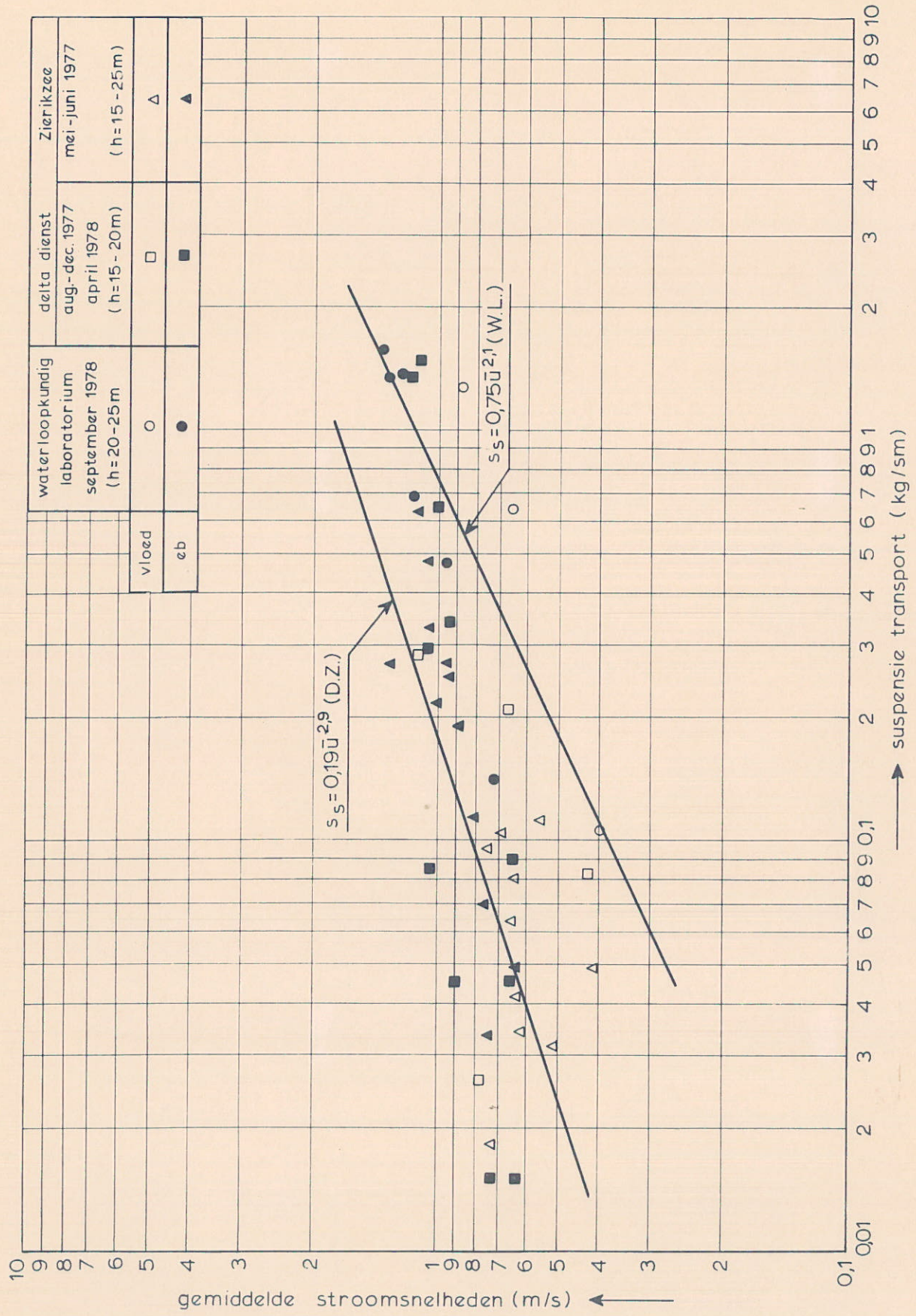


SEDIMENTTRANSPORTFUNKTIE SCHAAR VAN  
ROGGENPLAAT, VERSNELLENDE STROOM

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

R1267-IV/M1572

FIG. 14



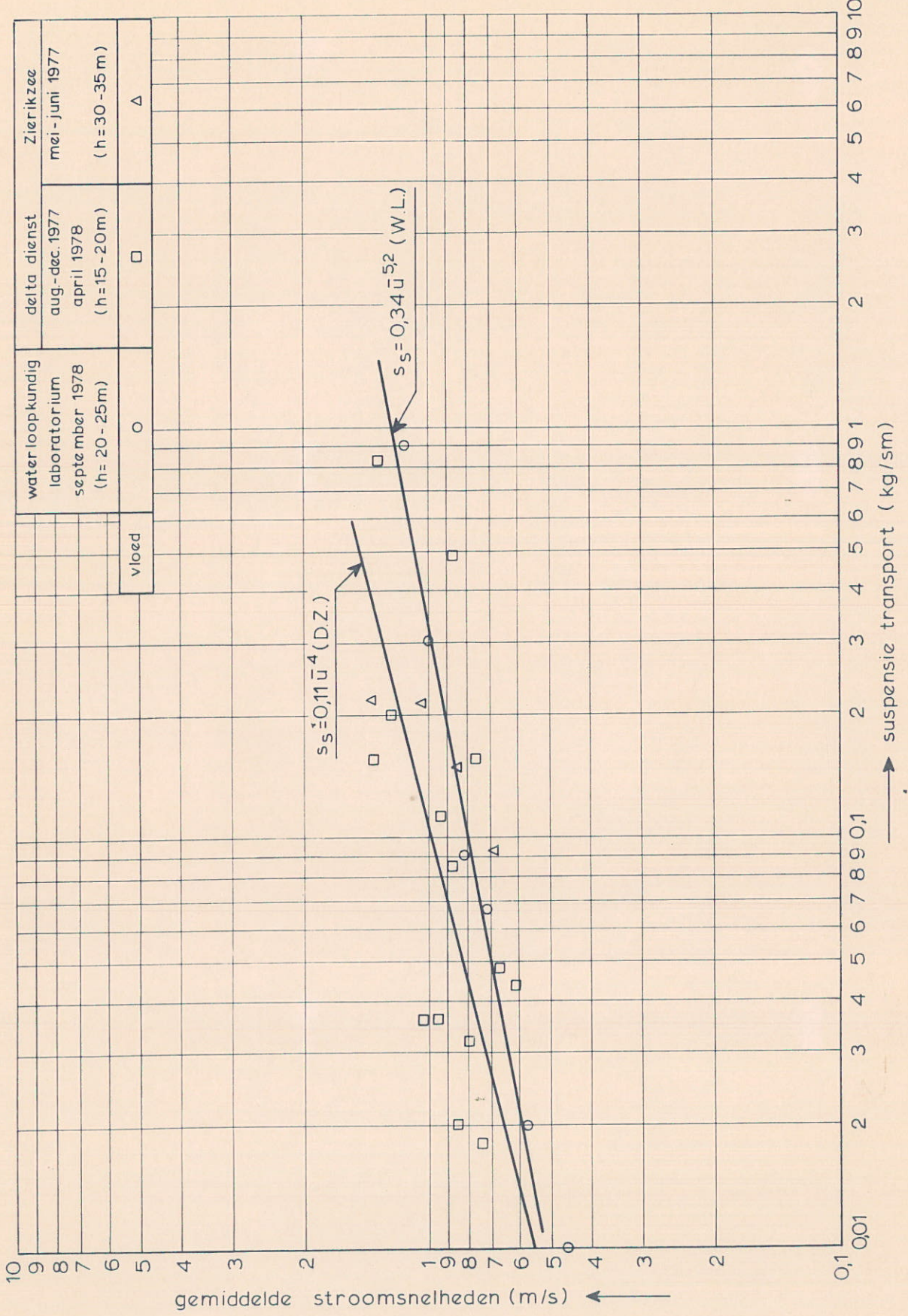
SEDIMENTTRANSPORTFUNKTIE SCHAAR VAN  
ROGGENPLAAT, VERTRAGENDE STROOM

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

R1267-IV/M1572

FIG. 15



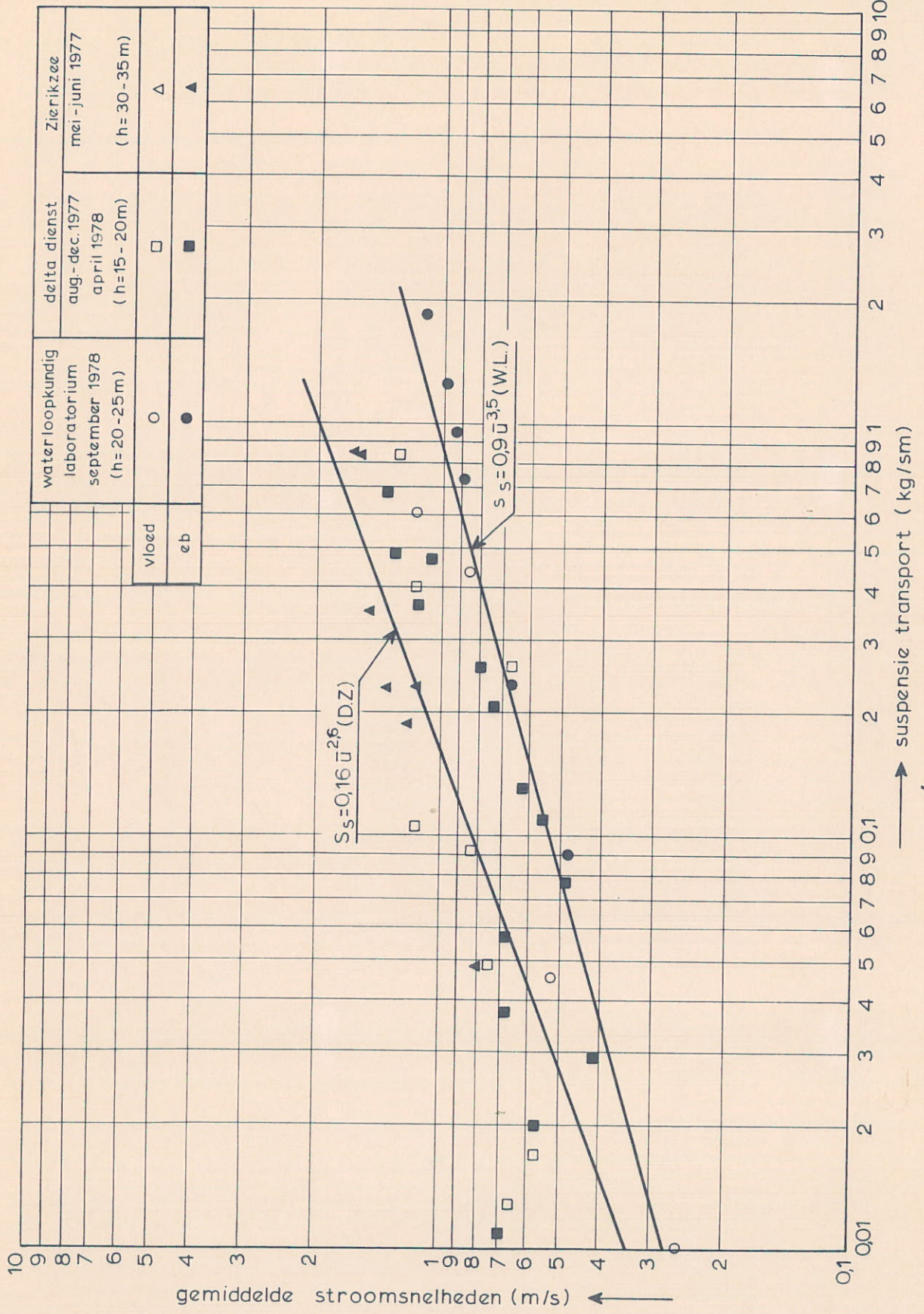


SEDIMENTTRANSPORTFUNKTIE ROOMPOT,  
VERSNELLEDE STROOM

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

R1267-IV/M15.72

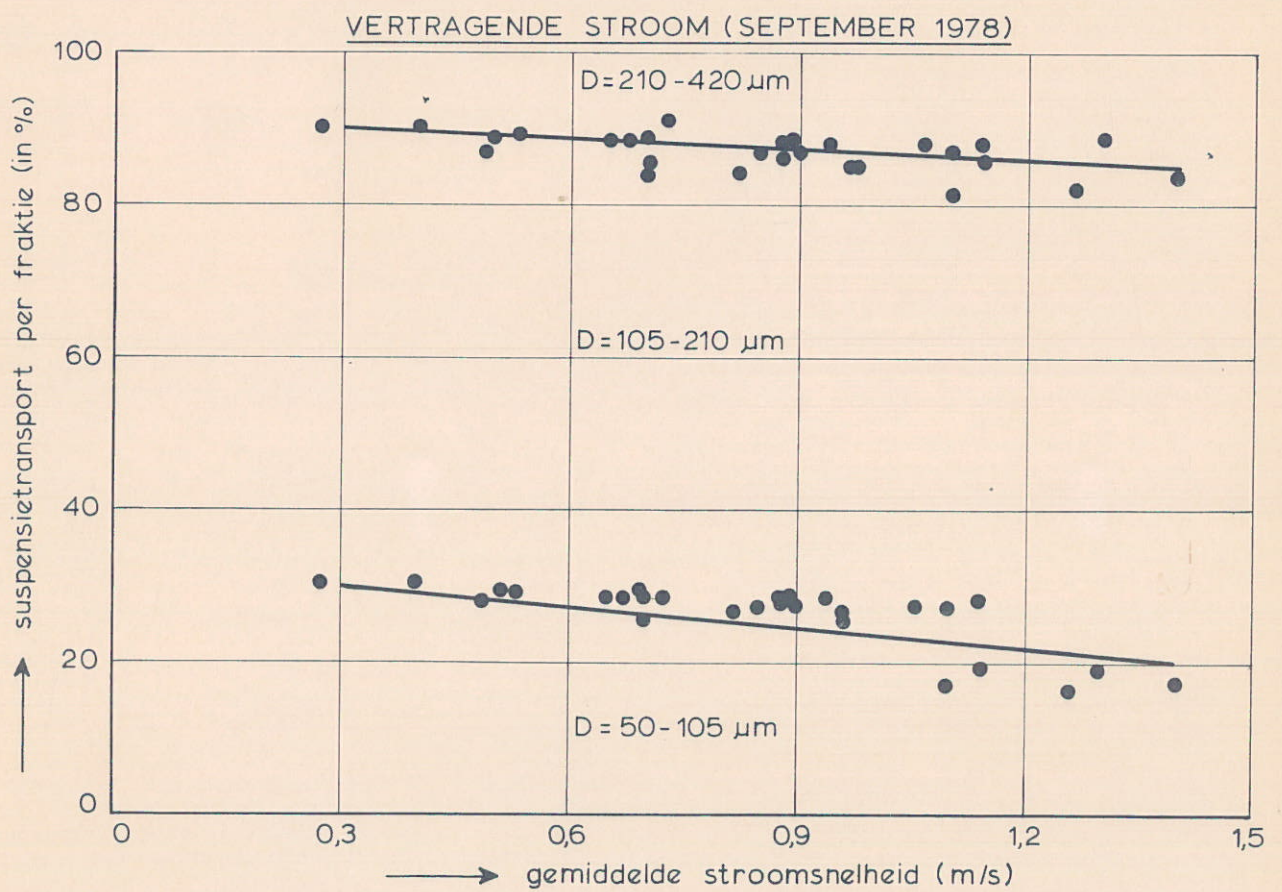
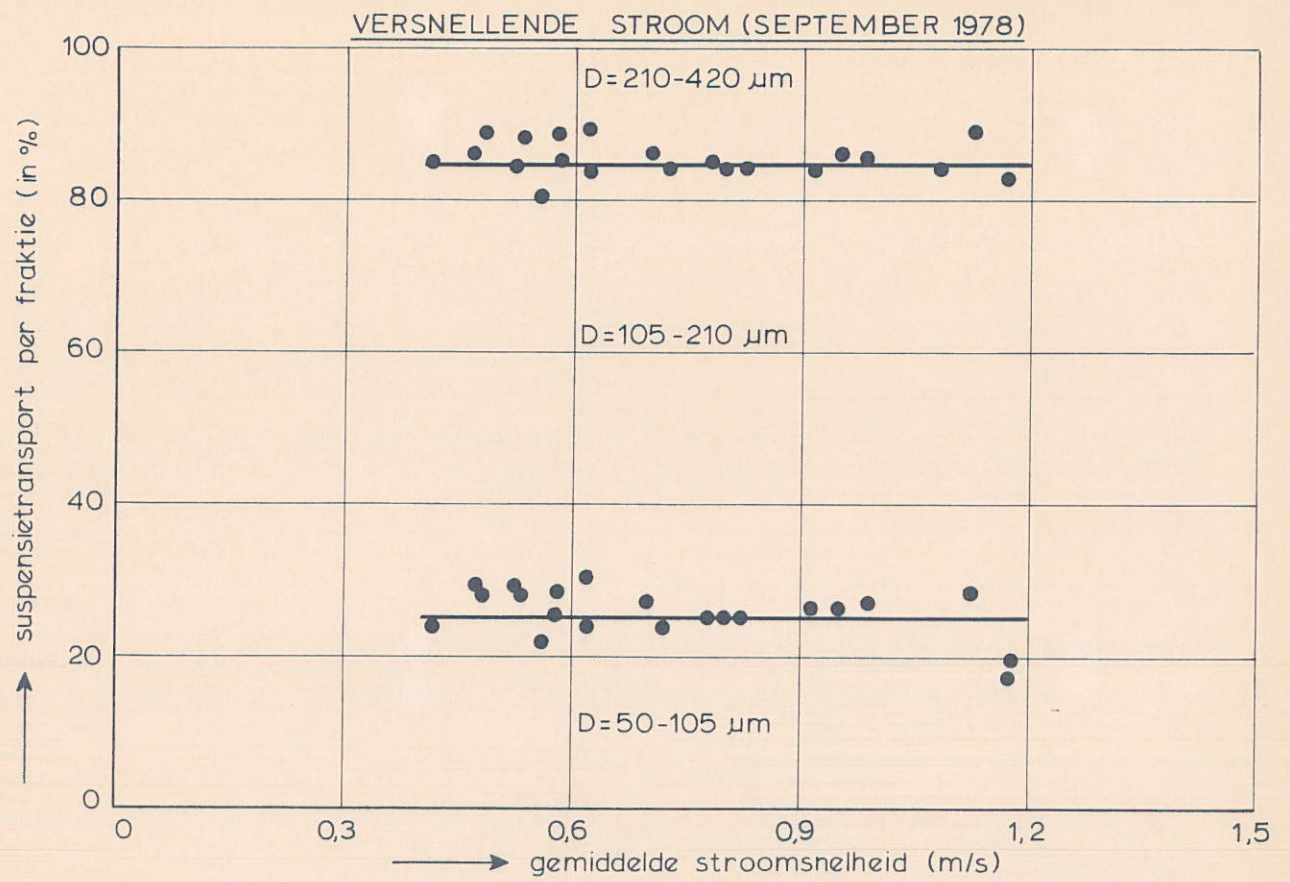
FIG. 16



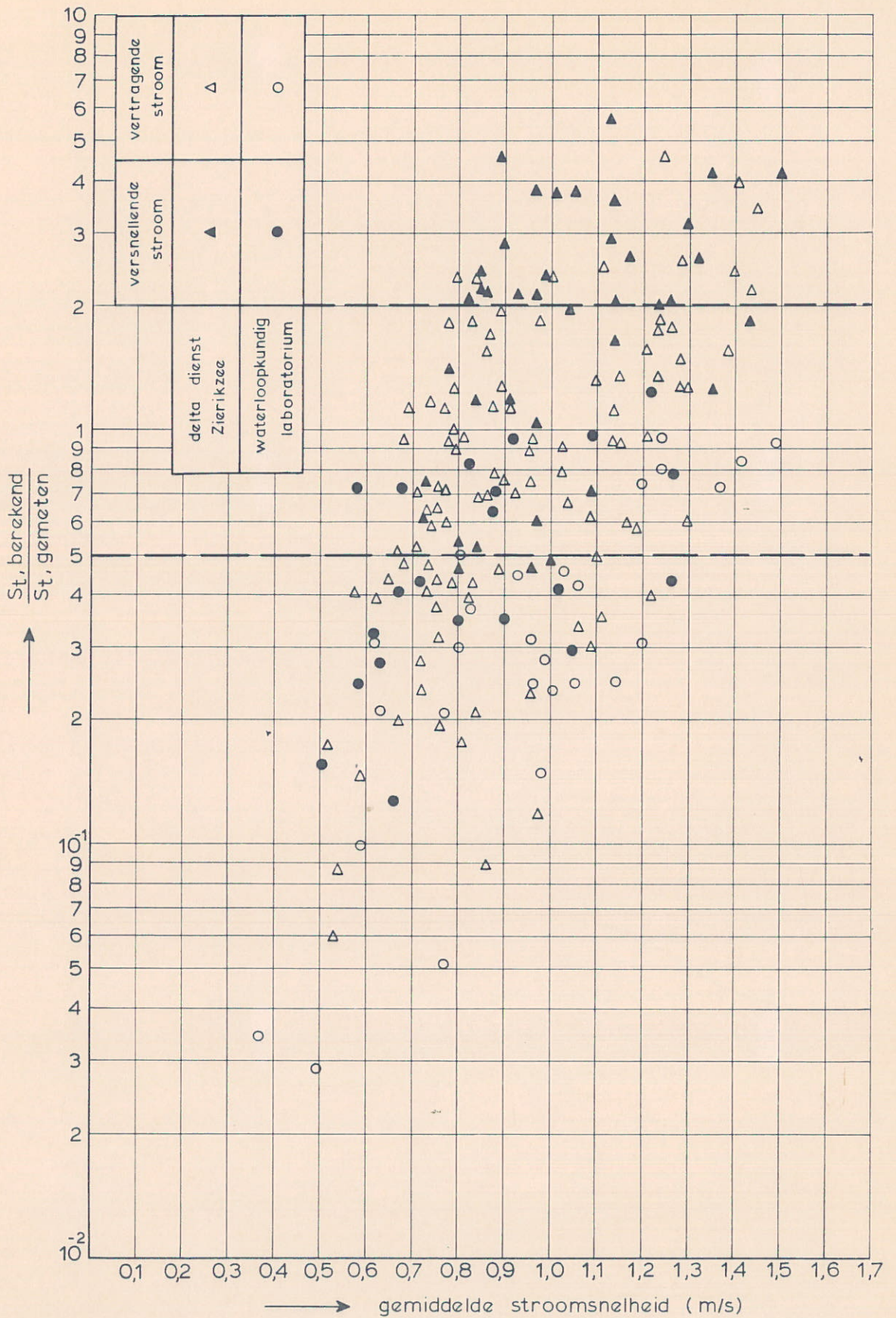
SEDIMENTTRANSPORTFUNKTIE ROOMPOT,  
VERTRAGENDE STROOM

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

R1267-IV/M1572 FIG. 17



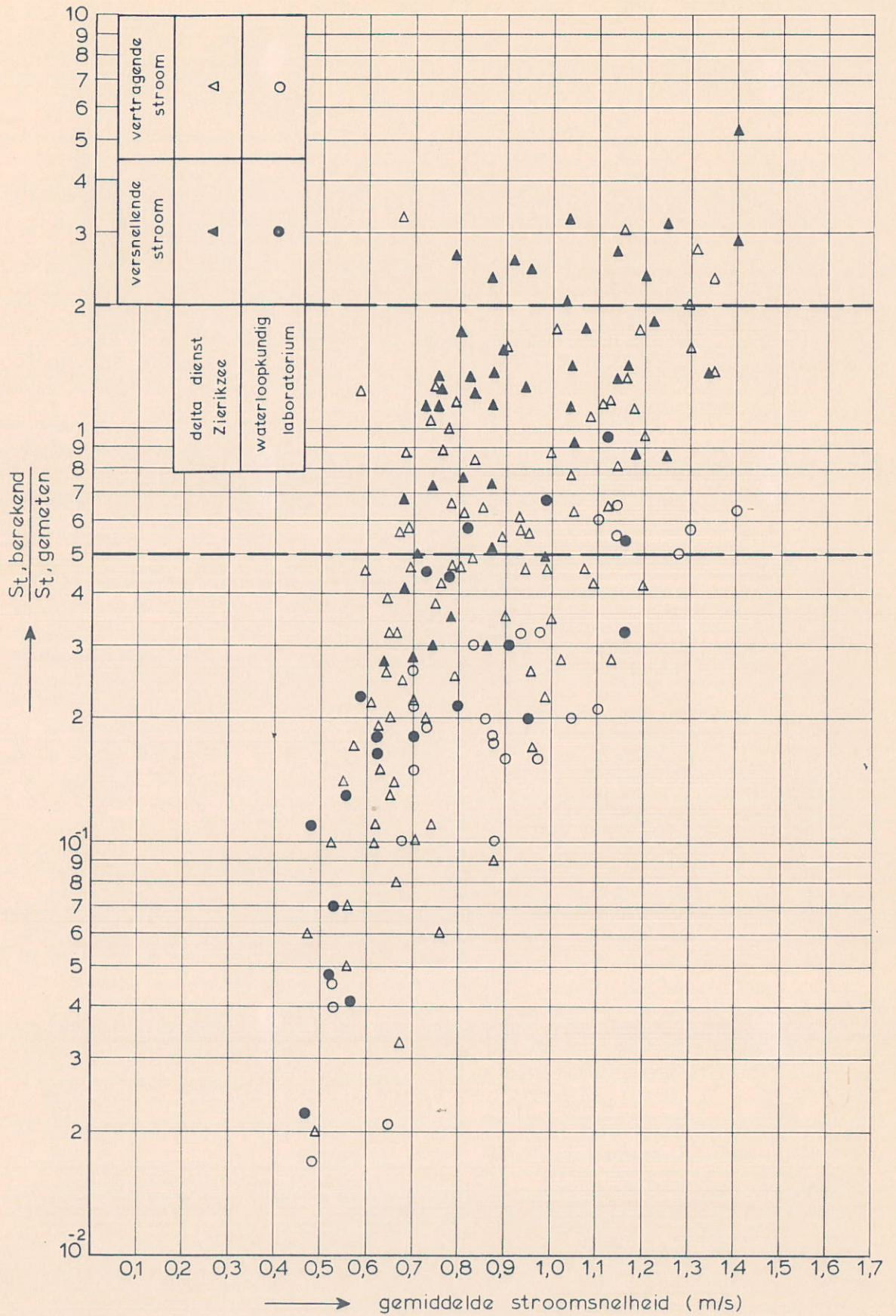
SUSPENSIE TRANSPORT PER FRAKTIE



TOETSING SEDIMENT TRANSPORT  
 FORMULE ENGELAND - HANSEN

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

R1267-IV/M1572 FIG. 19

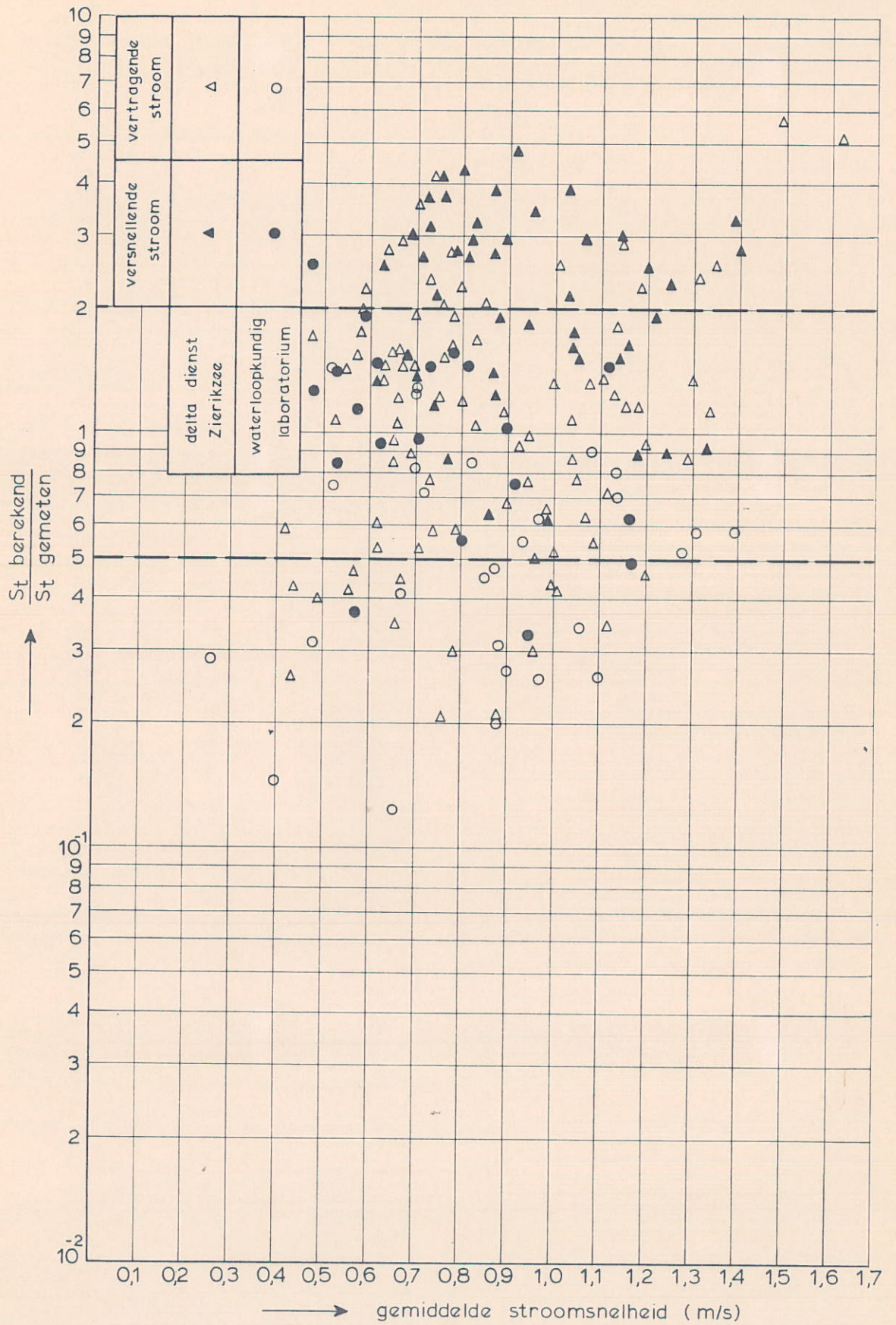


TOETSING SEDIMENT TRANSPORT FORMULE  
ACKERS - WHITE

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

R1267-IV/M1572

FIG. 20



TOETSING SEDIMENT TRANSPORT FORMULE  
ROTTNER

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

R1267-IV-M1572

FIG. 21

p.o. box 177

2600 mh delft

the netherlands