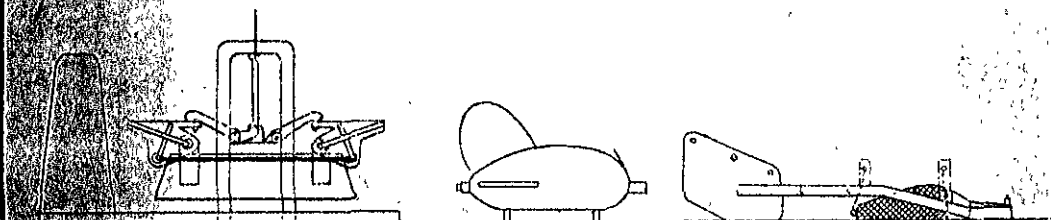


# ZANDMEET INSTRUMENTEN EN HUN BETROUWBAARHEID

DOOR

R. H. J. MORRA



~~DDWT-BEN-1948-03~~

Opdracht No. 34.

Augustus 1947.

Aan den Heer R.J. Morra.

Sinds het begin van het zandtransport onderzoek, d.i. sinds omstreeks 1921 toen Carter Cremens zijn zandvanger construeerde, is veel gepubliceerd en geëxperimenteerd, doch samenvattende beschouwingen werden nog niet gemaakt.

Ik verzoek U een overzicht te willen samenstellen van de bij de zandtransport-studies gebruikte meetinstrumenten - binnenlandse zowel als buitenlandse - en de nodige opmerkingen te maken over de betrouwbaarheid der daarmede verkregen meetgegevens.

Indien ge nog proeven in een laboratoriumgoot nodig acht, staat die van prof. Escher te Leiden ter beschikking.

Geef voorts s.v.p. een volledige literatuurlijst.

De Hoofdingenieur,



INHOUD

R 301.

- § 1 Inleiding
  - § 2 Overzicht der meetinstrumenten
  - § 3 Nadere beschouwing der in Nederland gebruikte instrumenten
  - § 4 De betrouwbaarheid der verrichte metingen en enkele resultaten
  - § 5 Toekomstige metingen
  - § 6 Samenvatting
- Literatuur

LIJST DER BIJLAGEN

- |            |    |   |
|------------|----|---|
| A 4 48.99  | 1. | Overzicht meetinstrumenten voor zandbeweging              |
| A 2 48.100 | 2. | Verband zandgehalte, zandtransport en stroomsnelheid      |
| A 1 48.104 | 3. | Ijkingskrommen zandvangers                                |
| A 1 48.103 | 4. | Beproeving gehaltemeter (Invloed openingsduur)            |
| A 1 48.102 | 5. | Vergelijking Delftse fles en B T A voor benedenrivieren   |
| A 1 48.101 | 6. | Verhoudingen zandgehalte en zandtransport in de verticaal |
| A 2 2515   | 7. | Zandtransport Oosterschelde                               |
| A 2 48.136 | 8. | Proefnemingen met gehaltemeter (ijking)                   |
| A 1 48.206 | 9. | Proefinrichting ijking gehaltemeter.                      |

§ 1 INLEIDING

In de laatste decennia hebben velen zich beziggehouden met het onderzoek naar de oorzaken der beweging in rivieren en zeegaten.

Aan de hand van modelproeven en waarnemingen in de natuur heeft men getracht de zandbeweging in formules vast te leggen.

Het zandtransport wordt in deze formules afhankelijk gesteld van korrelgrootte, diepte, gemiddelde snelheid, ruwheid van de bodem, dichtheid van water en bodemmateriaal. (lit. 1 en 2).

De bekendste formules zijn van Du Boys, Schoklitsch en Meyer-Peter. Het empirisch karakter van deze formules komt wel tot uiting in de verschillende constanten. Toetst men deze formules aan de werkelijkheid dan blijkt het meerdere malen, dat men deze constanten sterk moet wijzigen; zo moet bijv. een constante uit de formule van Meyer-Peter met 10 vermenigvuldigd worden om in ons land voor de bovenrivieren een redelijke uitkomst te geven.

Een der coëfficiënten van Straub moet weer door vijf gedeeld worden.

Deze formules zijn geenszins waardeloos, mits men de coëfficiënten, die voor de verschillende rivieren en riviergedeelten sterk kunnen wisselen, goed kiest, wat intussen verre van eenvoudig is.

Toch moet men bij de beschouwing van formules voor de zandbeweging, verkregen bij modelproeven enige reserve in acht nemen, wat ook wel blijkt uit de aanpassing der coëfficiënten aan de verschillende gevallen in de werkelijkheid. Dr. Meyer-Peter zelf zegt hiervan:

"Es handelt sich bei diesen Versuchen nicht etwa um die Bestimmung gewisser Zahlenwerte bei an sich bekannten Vorgängen, sondern man weisz nicht einmal, von welchen Faktoren der Schlamm Transport abhängt, und es ist daher unmöglich von Modellversuchen in kleinem Maszstab auf die Verhältnisse im Flusz zu schlieszen" (lit. 3).

Uit bovenstaande volgt wel, dat het probleem der zandbeweging zeer ingewikkeld is door de grote verscheidenheid der oorzaken en omstandigheden, die de zandbeweging beïnvloeden. Dezerzijds is thans een onderzoek gaande naar het verband tussen zandgehalte en stroomsnelheid, verdeling in de verticaal, invloed korrelgrootte enz. Het ligt niet in de bedoeling hier in te gaan op de theoretische zijde van dit probleem, doch wel enkele beschouwingen te geven over de instrumenten, waarmee de waarnemingen worden verricht en waaruit men tenslotte zijn gevolgtrekkingen maakt. Het ligt voor de hand, dat naarmate de nauwkeurigheid der instrumenten toeneemt, de conclusies juistere worden. In het volgende zal een overzicht gegeven worden van de meetinstrumenten

menten, waaraan enkele beschouwingen worden vastgeknoopt. De bijzondere aandacht zal gevestigd worden op de in Nederland gebruikte toestellen. Aangezien de waarnemingen in de natuur met haar grote verscheidenheid de beste kansen geven om tot een oplossing van dit probleem te komen, zal men de instrumenten tot een zo hoog mogelijke graad van nauwkeurigheid dienen op te voeren.

## § 2. OVERZICHT DER MEETINSTRUMENTEN

De beweging van vaste stoffen door het water vindt plaats op drie manieren; rollend, springend en zwevend, terwijl de korrelgrootte van het getransporteerde materiaal binnen ruime grenzen varieert nl.; van stenen tot slib. Het behoeft dan ook geen verwondering te wekken, dat het aantal en de verscheidenheid der meetinstrumenten zo groot is, en het is waarschijnlijk dat de ontwikkeling van een universeel instrument voor alle soorten materiaal niet mogelijk is.

Elk instrument is geschikt voor bepaalde gevallen en heeft zijn eigen voor- en nadelen. De omstandigheden zullen de keus van het meest geschikte instrument moeten bepalen. Is het getransporteerde materiaal b.v. grof, dan wordt veelal gebruik gemaakt van een instrument, voorzien van een net, dat de vaste stoffen opvangt. Voor fijn zand en slib zal men aangewezen zijn op een gehaltemeter en voor niet al te fijn materiaal bewijst een zandvanger met hydrodynamische werking goede diensten.

Men zou de volgende indeling der bestaande instrumenten kunnen maken:

- 1a. gehaltemeters met onmiddellijke vulling.
- 1b. gehaltemeters met geleidelijke vulling.
- 2a. zandvangers met een net.
- 2b. zandvangers met hydrodynamische werking.
3. photo-electrische cel.
4. pompmethode.

In het onderstaande zullen deze methoden en de daarbij gebruikte instrumenten beschouwd worden, terwijl op de in Nederland gebruikte instrumenten in de volgende § dieper zal worden ingegaan.

Een overzicht der instrumenten vindt men op bijl. 1. Voor uitvoerige beschrijvingen wordt verwezen naar de bestaande literatuur.

### 1a. Gehaltemeters met onmiddellijke vulling

Er zijn twee typen nl.; horizontaal en verticaal werkend. De eerste hebben het voordeel dat de natuurlijke stroming van het water zo min mogelijk

gestoord wordt, doch het bezwaar, wat trouwens aan beide typen kleeft, dat men slechts een momentopname verkrijgt. Een voldoende aantal waarnemingen zal dit bezwaar echter sterk reduceren.

De verticaal werkende gehalteneters veroorzaken nabij de instroomopening wervelingen en sterke storingen met grote kans op ontmenging. Zij zijn alleen geschikt te achten voor oceanografische doeleinden (Ekman).

Al deze instrumenten brengt men in geopende toestand op de gewenste diepte waarna de sluiting geschiedt met behulp van een valgewicht en klink-inrichting. Deze sluiting geschiedt plotseling. Men verkrijgt dus na het ophalen van het gesloten instrument een monster water van de gewenste diepte, waarvan de grootte varieert van 0,3 - 10 liter.

Men kan van dit monster het gehalte aan vaste stoffen bepalen, alsmede het eventuele zoutgehalte.

Er zal in de volgende § nog gelegenheid zijn nader op de betrouwbaarheid van dit type terug te komen.

Nr. Bijlage 1	Land	ontworpen door	inhoud in liters	lit.	Jaar van publicatie of ingebruik name.
1	Nederland	dir. Ben. riv.	12,4 x 5 of 10 l	9,19	1930
2	Zweden	-	1	18	1932
3	Rusland	Joukowsky	0,5 à 2	18	1932
4	Zwitserland	Meyer-Peter	± 1	3	1932
5	Frankrijk	Glangeaud	-	14	1939
6	"	"	-	14	1939
7	Zweden	Hjulström	-	16	1929
8	Noorwegen	Ekman	0,3 - 1,1	18,20	1925
9	Frankrijk	Collet	-	20	1925

Het frame van nr. 1 is zodanig geconstrueerd, dat opwervelingen buiten het bereik der bakken blijven.

Ter meerdere zekerheid is nr. 1 voorzien van ~~wat~~ dampers, waardoor het toestel langzaam op de bodem zakt.

#### 1b. Gehaltemeters met geleidelijke vulling

Om aan het bezwaar "momentopname" te ontkomen heeft men gehalteneters geconstrueerd, die zich geleidelijk gedurende enkele minuten vullen. Men verkrijgt op deze wijze een gemiddeld monster uit een langere stroombaan, of indien men het instrument gedurende de vullingstijd ophaalt een gemiddeld ~~monster~~ opening monster in een verticaal. De storende invloed nabij de instromings is echter

-groter-

groter, doordat <sup>de</sup> instroming afgeremd wordt, want er moet lucht weggedrongen worden en <sup>zal</sup> dus een zekere mate van opstuwung voor de instroomopening plaats vinden met als gevolg afbuiging der stroombanen.

Nr. bijlage 1	Land	ontworpen door	inhoud	lit.	jaar
10	Rusland	Gluschkoff	0,5 l	18	1932
11	"	"	0,5 l	18	1932
12	"	"	0,9 l	18	1932
13	Beieren	Höchstetter	2 l	18	1929
14	Zweden	Hjulström	2 l	16	1929
15	Frankrijk	Glangeaud	9 l	14	1939

De eerste drie werken horizontaal, de laatste verticaal.

Voor metingen van zandtransport zijn deze toestellen niet of slechts weinig geschikt. Voor slibmetingen is hun waarde groter.

Nr's 10 en 11 worden geleidelijk gevuld, omdat de lucht uit het instrument slechts langzaam via een nauwe opening kan ontwijken.

Nr. 12 bestaat uit een drietal gummiblazen met mondstukken, die bevestigd zijn aan een stang. Men laat het instrument zodanig zakken, dat de instroomopening stroomafwaarts wijst, de lege blaas knijpt dan de toegang af en verhindert instromen van het water. Op de gewenste diepte wordt de stang gedraaid, zódanig, dat de instroomopening stroomopwaarts wijst en de blaas zich geleidelijk vult. Daarna draait men de stang weer terug, de blaas sluit het mondstuk weer af en men kan het toestel ophalen. De inwendige weerstand is echter vrij groot met als gevolg: opstuwung, <sup>terwijl</sup> verstopping door ongewenste afzettingen in de instroomopening is niet denkbeeldig. is.

Het toestel is zeer licht, <sup>ge</sup> makkelijk hanteerbaar en erg eenvoudig, doch niet aan te bevelen.

Nr. 13 (het instrument van Höchstetter) drijft met de stroom mee en geeft dus geen monster uit een langere stroombaan. Bovendien neemt de fles die in omgekeerde toestand naar beneden gaat, hoewel de opening door een gummibal is afgesloten, door samenpersing van de lucht water mee uit hoger gelegen lagen (op 4 m diepte bedraagt deze samenpersing al  $\frac{1}{4}$  van de inhoud). Op de gewenste diepte gekomen tuimelt de fles en vult zich, na het vullen sluit de gummibal de opening af.

De storende invloeden bij de volstroming worden niet door de stroom veroorzaakt omdat het geheel met de stroom meedrijft, doch wel door de ontwijkende lucht.

Nr. 14 is een monsterfles, zoals gebruikt wordt voor zoutmetingen en kan door de verende werking van de draagbeugel onder water worden gesloten.

Nr. 15 is een monsterketel, die zich in een tijdsverloop van 5 min. vult, en werkt verticaal waardoor sterke storing ontstaat bij de opening.

Al met al hebben deze toestellen alleen waarde voor slibmetingen. Voor zandmetingen zijn zij af te raden.

#### 2a. ZANDVANGERS MET EEN NET

Bij deze instrumenten worden de vaste stoffen door middel van een net of gaas opgevangen terwijl het water weer door de mazen verdwijnt. Men meet dus de hoeveelheid vaste stoffen, die door een bepaalde oppervlakte (in-stroomopening van het instrument) gedurende een zekere tijd passeert. Voor stenen en grof zand zijn deze toestellen zeer geschikt. De geschiktheid neemt af naarmate de korrelgrootte van het materiaal kleiner wordt. Men kan ook de maaswijdte niet steeds verkleinen, want een kleiner maaswijdte dan b.v. 200  $\mu$ , en dit is al zeer fijn, heeft geen zin meer. Dit gaas zal nl. zeer snel door vuil en zandkorrels verstopt raken, terwijl het schoonmaken moeilijk en tijdrovend is. De fijnere delen van het zwevende materiaal verstoppem het gaas of gaan verloren. Een algemeen bezwaar is nog, dat, naarmate de vulling toeneemt en dus de beschikbare uitstroomoppervlakte kleiner wordt, de werking afneemt en de opstuwing groter wordt. Men kan dit echter grotendeels ondervangen door de tijd van waarneming kort te houden.

Nr. bijlage 1	Land	ontworpen door	maaswijdte in m.m.	lit.	jaar
16	Nederland	Dir. Bov. Riv.	0,3	2	1937
17	Duitsland	Leiner	-	17	1912
18	"	Kurzmann	5	17	1919
19	"	Ehrenberger	4,5	17	1931
20	Oostenrijk	Mühlhofer	1,5	21	1931

Nr. 16 (bekend onder de naam Bodemtransportmeter "Arnhem" of B.T.A.) is ongetwijfeld de beste zandvanger voor zand met een grovere zandkorrel dan 300  $\mu$ . De opening van het toestel wordt door bladveren tegen de bodem aangedrukt, met de bedoeling onderloopsheid te voorkomen.

Er zal in de volgende § nader op worden teruggekomen. De andere zijn, gezien hun grove maaswijdte alleen geschikt voor zeer grof zand, grind en stenen.

#### 2b. ZANDVANGERS MET HYDRODYNAMISCHE WERKING

Bij deze instrumenten vangt men het zand door een stroomverlamming te veroorzaken, waardoor het zand dat zich in het water bevindt neerslaat,



waarna het water via afvoeropeningen het toestel weer verlaat. Ook hier kan men dus het zandtransport meten door te bepalen hoeveel zand gedurende een bepaalde tijd een bepaalde oppervlakte (instroomopening) passeert.

Nr. bijlage 1	Land	ontworpen door	hydr. coëff.	Ø in cm <sup>2</sup>	lit.	jaartal
21	Nederland	Ir. Canter Cremers	+0,5	-	22	1921
22	"	"	+0,7	45	9,19,23	1921
23	"	" (verbeterd model)	+0,8	10	-	-
24	Nederland	Waterl. kund. Lab.	1	1.9	10	1937
25	Duitsland	Lüders	-	-	9,17	1933

Het grote bezwaar van deze instrumenten is het niet voldoende tot neerslag komen van de fijnere delen met het gevolg dat een deel het toestel weer via de uitstroomopening verlaat, waardoor er dus verlies optreedt. Dit verlies neemt toe, naarmate de watersnelheid groter en de korrelgrootte kleiner wordt. Dit verlies kan zeer belangrijk zijn (Zie bijlage 3).

Ook is een bezwaar het optreden van opstuwing, <sup>waardoor</sup> ~~dat~~ de hydraulische coëfficiënt  $\eta < 1$ , behoudens bij nr. 24 (de z.g. Delftse Fles) waar deze waarde iets hoger ligt dan 1. Men heeft dit bereikt door verbetering <sup>van de</sup> ~~der~~ uitwendige vorm en verkleining van de instroomopening. (Zie volgende §).

Nr. 25 is een zeer vernuftig toestel, doch blijkens proeven genomen door Hjusltröm is het optredende verlies niet te verwaarlozen (lit. 16)

### 3. PHOTOELECTRISCHE METHODE

Bij deze methode wordt gebruik gemaakt van de eigenschappen van de photoelectrische cel.

Bij belichting van deze cel ontstaan elektrische stromen, waarvan de sterkte evenredig is met de ontvangen lichtsterkte. Door deze stromen te meten is men dus in staat de lichtabsorptie te bepalen van de stof tussen lichtbron en photoelectr. cel, in ons geval het water met de zwevende vaste stoffen. Het toestel werkt dus zeer eenvoudig, want men hangt het in het water en kan aldus de "vertroebeling" van dit water direct meten, <sup>immers,</sup> ~~want~~ de vaste stoffen absorberen en diffuseren het uitgestraalde licht gedeeltelijk en wel sterker naarmate de hoeveelheid vaste stof toeneemt.

Nr. bijlage 1	Land	ontworpen door	lit.	jaartal
26	Rijsland	Kalitin	16,18	1923
27	Rusland	Kalitin	16,18	

Het grote bezwaar is, dat de ~~water~~ samenstelling van het water met opgeloste zouten, kleurstoffen en die van het slib van enorme invloed is, terwijl deze samenstelling sterk kan wisselen. Er is dan ook geen eenvoudig verband te vinden tussen de hoeveelheid vaste stof en de lichtabsorptie. Er is reeds een vrij belangrijke variatie voor een gelijksoortige stof. Dit instrument is alleen bruikbaar in water, waarvan de samenstelling <sup>der</sup> opgeloste en zwevende stoffen onveranderlijk is en waarin geen afval van steden, fabrieken e.d. voorkomt.

#### 4. POMPMETHODE

Hierbij wordt het water van een zekere diepte opgepompt, zodanig dat de instroomsnelheid in de zuigleiding gelijk is aan <sup>de stroomsnelheid</sup> die van het omringende water. Het opgepompte water wordt opgevangen en men laat de vaste stoffen bezinken, zodoende kan men het transport zonder verlies meten. Het lijkt echter uitermate moeilijk om de zuigsnelheid en watersnelheid, die vooral nabij de bodem sterk kan fluctueren, voortdurend gelijk te houden. Bij te langzaam pompen ontstaat stuwwerking voor de mond der zuigbuis, terwijl men bij te snel pompen in de nabijheid <sup>van de</sup> bodem kans loopt op opzuigen van bodemzand.

De methode is wel eenvoudig en in staat snel een inzicht te geven. Blijkens proeven in Zweden (lit)6 staat deze methode echter ten achter bij monstername.

### § 3 NADERE BESCHOUWING DER IN NEDERLAND GEBRUIKTE INSTRUMENTEN

Uit de vorige § is wel gebleken dat voor de rivieren en zeegaten in Nederland niet alle typen geschikt zijn.

Van de zandvangens komen alleen in aanmerking Canter Cremers, Delftse fles en B.T.A. (Bodemtransportmeter "Arnhem"); van de gehaltemeters de groep met onmiddellijke vulling; de pompmethode.

In grote lijnen kan men zeggen dat voor onze benedenrivieren en zeegaten, waar het zand fijn is (overwegend  $< 300 \mu$ ) de voorkeur gegeven dient te worden aan de gehaltemeter en Canter Cremers of Delftse fles.

Op de Bovenrivieren is de B.T.A. van grotere betekenis, de gem. korrelgrootte ligt daar practisch overal boven  $300 \mu$  en het bodemtransport is verhoudingsgewijs belangrijker dan het zwevend transport.

De Canter Cremers, genoemd naar wijlen Ir. Canter Cremers, is in ons land sinds 1921 in gebruik. De metingen welke door de Dir. Benedenrivieren sinds 1932 met dit toestel werden verricht geschieden steeds in samenwerking met de gehaltemeter.

Uit deze metingen bleek, dat de waarden verkregen met de C.C. aanmerkelijk lager waren dan de gehaltemeter aangaf en de meetresultaten weinig fraai waren, waaruit de conclusie kon worden getrokken, dat óf de C.C. te weinig óf de gehaltemeter te veel aangeeft.

Zo komt Ir. I.L. Kleinjan tot de gevolgtrekking, dat met de gehaltemeter beter vloeiende krommen worden verkregen dan met de Canter Cremers, die veel meer spreiding geeft. Bovendien geeft ~~aan~~<sup>om</sup>werking van de transportkromme, tot gehaltekromme belangrijk kleinere waarden dan de rechtstreeks gemeten gehalten. Dit wijst op verlies bij de C.C. Hij acht de gehaltemeter op grond van de bereikte meetresultaten alleszins geschikt en het is een voordeel, dat bij eventuele twijfel een waarneming direct herhaald kan worden en dat de frequentie der waarnemingen groter kan zijn daar de tijd van waarneming voor de gehaltemeter slechts enkele seconden duurt, terwijl de C.C. een waarnemingsduur heeft van b.v. 5 minuten.

Toch beveelt hij aan beide tezamen te gebruiken ter onderlinge controle (lit.4).

Dr. Ir. J. van Veen zegt, dat de snelheid bij de gehaltemeter geen rol speelt, bij de transportmeter daarentegen wel, wat ook uit de meetresultaten blijkt, door veel grotere spreiding. Gelijktijdig gebruik van beide toestellen acht ook hij gewenst (lit.5).

Ir. H.A. Ferguson acht de C.C. op grond van de metingen verre ten achter staan bij de gehaltemeter, doch ziet ook gaarne beide tezamen gebruikt. (lit.6).

Arr. Hoorn komt op grond van de metingen tot de conclusie, dat de gehaltemeter beter voldoet dan de Canter Cremers, daar de laatste te lage waarden geeft (lit.7).

De voorkeur voor de gehaltemeter van hen die er mee gewerkt hebben, blijkt wel duidelijk. Een en ander heeft geleid tot het instellen van een onderzoek naar de betrouwbaarheid van de C.C. (lit.8). Hierin wordt o.m. het volgende medegedeeld:

Onderling vergeleken zijn de kleine zandvanger (C.C.) waarvan de instrooing opening  $17.35 \text{ cm}^2$  bedraagt en de gehaltemeter van 5 l., bestaande uit één bak. Aangenomen is, dat het met de gehaltemeter gemeten gehalte niet in enigszins betekanende mate van de werkelijkheid afwijkt op grond van een beschouwing.

Metingen, welke door Prof. E. Meyer-Peter [te Zürich] werden uitgevoerd in het Waterbouwkundig Laboratorium, waarbij met behulp van een klein model gehaltemeter controleberekeningen werden uitgevoerd op het slib- en zandtransport van de toegevoegde vaste stof, bleken zeer bevredigend te kloppen (zie ook lit. 3).

Uit de vergelijkende metingen van de zandvanger en gehaltemeter blijkt, dat eerstgenoemde in belangrijke mate foutief meet en veel te lage waarden geeft. Er moet dus verlies optreden. De gemiddelde korrelgrootte van het door de zandvanger gevangen zand blijkt vrij belangrijk hoger te liggen dan van het zand uit de gehaltemeter, zoals uit onderstaande staat volgt:

Gemiddelde korrelgrootte in $\mu$ .						
bodem	v l o e d			e b		
	zandvanger	geh.meter	verschil	zandvanger	geh.meter	verschil
156	143	111	32	127	103	24
124	112	102	10	-	-	-
108	101	91	10	105	92	13
95	95	91	4	105	94	11
135	117	106	11	110	109	1
170	135	115	20	134	119	15
488	201	127	74	155	107	48

Hierbij valt te bedenken, dat het voorhanden zand vrij gelijkmatig is van korrelgrootte (de grens-korrelgrootten liggen ongeveer 80 - 100  $\mu$  uiteen), zodat de verliespercentages vrij aanzienlijk zijn.

Tot zover Ir. Kleinjan.

Prof. Thijssen kon zich met de conclusies in dit rapport in het algemeen verenigen en meende eveneens dat een belangrijk verlies aan uitstromend zand optrad.

Ir. Pomes echter niet: bij zandstoten wordt grover materiaal verplaatst en is dus, daar de gehaltemeter een momentopname en de zandvanger een tijdopname geeft en de eerste dus tevens de frequentie en dichtheid der zandwolken mist, de gem. korrelgrootte in de zandvanger groter. Verder voerde hij aan, dat de gehaltemeter bij neerslag van zand uit de hogere lagen omstreeks de kentering te hoge waarden geeft.

Opm. Dit laatste is inderdaad gebleken het geval te zijn, de "afwijking" is het grootst omstreeks de kentering, doch dit bezwaar lijkt erger dan het in werkelijkheid is, daar men om het transport te leren kennen het gehalte moet vermenigvuldigen met de afgelegde weg, die dan juist zeer klein is (0-10 cm/sec), terwijl het gehalte ook niet groot is (b.v. 0,1 à 0,2 cc/5 l.)

Ditzelfde verschijnsel doet zich eveneens voor bij de zandvangers (o.a. de Delftse Fles). Op bijlage 2 is aangegeven het verband tussen snelheid - zandgehalte en snelheid - zandtransport, zoals gemeten met de gehaltemeter en Delftse fles. Hieruit blijkt, dat dit bezwaar bij beide instrumenten op-

treedt en de nauwkeurigheid der metingen niet aantast en de uitkomsten praktisch niet beïnvloedt. De gehaltekromme en transportkromme zijn op bijlage 2 tevens omgewerkt tot resp. transport en gehaltekromme en dan blijkt wel, dat men hier niet van een bezwaar mag spreken, doch dat het een werkelijk optredende toestand is. Al vindt men dus neerslag uit hogere lagen, de snelheden zijn van dien aard, dat het transport óf zeer gering is óf niet bestaat.

Een en ander leidde tot hernieuwde proeven met de G.C., waarbij zand van bekende korrelgrootte en hoeveelheid werd ingebracht (instroomopening bedroeg 45 cm<sup>2</sup>). De resultaten zijn samengevat in onderstaand staatje.

gemiddelde stroomsnelheid	gevangen hoeveelheid zand in %.	korrelgrootte in $\mu$	
		ingebracht	gevangen
26-43	83-56	109	112-121
58-81	53-28	109	122-137
74-113	43-14	109	119-149
22-35	88-80	155	165-186
52-70	76-52	155	181-202
91-111	46-31	155	189-205
29-35	93-85	302	290-346
58-61	88-85	302	315- <del>342</del>
96-100	77-70	302	296-369

Hieruit blijkt, dat met het toenemen van de snelheid het verlies toeneemt en de gem. korrelgrootte van het gevangen materiaal stijgt.

Vergelijking met de vorige proeven leidde tot de volgende conclusies: De verliespercentages liggen bij de laatste proeven lager dan bij de eerste. De oorzaken hiervan kunnen liggen in:

1. het te veel meten met de gehaltemeter.
2. voor het intreden in de zandvanger treedt tengevolge van opstuwning voor de instroomopening ontmenging op, wat blijkens de hydraulische coëfficiënt van dit instrument ( $K = \pm 0,7$ ) inderdaad het geval is.
3. door de wijze van proefneming -het zand is vrij sterk geconcentreerd en loodrecht op de stroomrichting ingebracht, waardoor minder gelegenheid tot uitstroming aanwezig was- zijn de verliespercentages minder groot.

In het Laboratorium te Delft werden analoge proeven genomen, waarbij het zand evenwijdig aan de stroomrichting werd ingebracht. De resultaten lopen

vrijwel parallel met de proeven van Ir. Kleinjan voor korrelgrootten  $< 150 \mu$ . Bij grover zand werden belangrijk lagere verliespercentages gevonden. Ook uit visuele waarnemingen bleek een vrij sterk verlies, omdat een deel van het zand niet tot neerslag in het instrument komt.

Op bijlage 3 zijn al deze ijkingen vastgelegd benevens een ijking van een zandvanger ( $K = 0,7$ ) door Ir. Schaank (lit. 2 en 8).

Tussen de ijkingen van Ir. Schaank en Ir. Kleinjan bestaat een behoorlijke overeenkomst. De ijking aan de hand van de gehaltemeter is met een stippellijn aangegeven. Hieruit blijkt, dat óf de gehaltemeter te veel aanwijst, óf de verliezen van de zandvanger nog groter zijn.

Er dient hierbij in aanmerking genomen te worden, dat bij deze ijkingen zand is ingebracht, waardoor waarschijnlijk gunstiger cijfers worden gevonden en de werkelijkheid min of meer vervormd wordt. Bovendien meet de gehaltemeter ook de zeer kleine franties, die bij de zandvanger verloren gaan.

Men heeft bij de bovenstaande proeven dus wel een goed inzicht gekregen in de eigenschappen van de Canter Cremers, doch de vraagpunten over de gehaltemeter blijven onbeantwoord. Deze vragen zijn:

1. Ontstaat er in de bak van het instrument neerslag met als gevolg te veel gevangen hoeveelheden ?
2. Heeft de tijd van geopend staan invloed op de gevangen hoeveelheden ?  
(Volgt uit 1).
3. Veroorzaakt de stand der kleppen sterke storing bij de instroming ?
4. Is het instrument bruikbaar voor het bepalen van het gehalte op de bodem om aldus het bodemtransport te leren kennen ?
5. Is het mogelijk tot een ijking te komen ?

Ter beantwoording van deze vragen zijn door de Studiedienst van de directie Benedenrivieren in de proefgoot van het Rijksmuseum voor Geologie en Mineralogie te Leiden een aantal proeven genomen met de gehaltemeter, waarvan de bakinhoud 5 liter bedraagt (afmetingen: hoog 7,5 cm; breed 16 cm; lang 41,5 cm).

Elke serie bestond uit 3 proeven, waarvan hieronder telkens 1 specimen wordt gegeven. De andere verschillen in resultaten niet of slechts uiterst weinig.

Elke proef werd begonnen met een gladgestreken zandbodem, terwijl de diepte en snelheid gedurende de proef constant werd gehouden, doch voor de verschillende proeven varieerde.

Bij de eerste serie werd het zandgehalte gemeten tussen 6,25 en 13,75 cm + bodem, het hart van de gehaltemeter bevond zich dus op 10 cm + bodem; de openingsduur van de gehaltemeter werd constant gehouden nl. 5 sec. (bijlage 4). Hieruit bleek, dat het zandtransport enige tijd nodig heeft om op gang te komen;

omdat de bodem zich door ribbelforming aan moet passen aan de waterbeweging. Het zandgehalte nam dus toe, naarmate de proef duurde, tengevolge van een groter wordende bodemruwheid totdat er een zekere evenwichtstoestand werd bereikt.

Hierop volgde een serie, waarbij de openingsduur afwisselend 2, 5 en 30 sec. bedroeg (bijlage 4), teneinde vast te stellen of de tijd van openstaan invloed heeft op de waarnemingen. Respectievelijk bedroegen de gemiddelde zandgehalten 0,9; 0,95; en 0,89 cc/5 l. bij de hier weergegeven proef. Hieruit blijkt wel duidelijk, dat de openingsduur van de gehaltemeter geen invloed heeft op de waarnemingen en er dus naar alle waarschijnlijkheid geen "neerslag" in de bak van de gehaltemeter optreedt tengevolge van de veronderstelde vermindering van turbulentie.

Visueel werd wel waargenomen, dat er enkele zandkorreltjes over de bodem rolden, zij het met grote snelheid. Dit is wel te verklaren, m.i. moet men hier denken aan springende korrels welke op de bodem van de bak terecht komen en door het uitstromende water worden meegenomen. Deze springende korrels waarvan de beweging veroorzaakt wordt door botsing beschrijven een soort kogelbaan en enkele komen in de gehaltemeter terecht, doch de stroom neemt ze, rollende over de gladde bodem, met grote snelheid mee.

Storing in het zwevend transport kon niet worden waargenomen.

De storing van het instrument is onderzocht met behulp van draadjes ijzergaren, papieren vlaggetjes en Kaliumpermanganaat en hierbij bleek, dat het storingsgebied der geopende kleppen niet binnen de invloedssfeer van de instromingsopening komt. De instroming zelf is praktisch ongestoord en in ieder geval is deze storing uiterst gering.

Ter beantwoording van de 4e vraag is de bak van de gehaltemeter op de bodem geplaatst en een aantal waarnemingen verricht met verschillende openingsduur. Het was onmiddellijk zichtbaar, dat de gehaltemeter niet bruikbaar is voor het bepalen van het bodemtransport. De zandribbels lopen in het toestel, doch lopen er aan de andere kant weer uit. Naarmate het toestel langer open staat lopen er meer ribbels in en vangt men dus meer. Een kleine afwijking uit de horizontale stand veroorzaakt grote afwijkingen in de gemeten zandgehalten, zoals uit onderstaand staatje blijkt. Verder "hapt" het toestel zeer gemakkelijk, d.w.z. dat bij het plaatsen en sluiten bodemzand wordt opgeschapt.

Openingsduur in sec.	2	5	30	60	120	300
gehalte in cc/5 l.	3.0	4.0	9.0	38.0 <sup>x)</sup>	12.0	50.0 <sup>x)</sup>
	6.0	6.0	29.0 <sup>x)</sup>	19.0 <sup>x)</sup>	50.0	50.0 <sup>x)</sup>

<sup>x)</sup>De bak stond zeer weinig hellend tegen de stroomrichting in.

De tijd van openstaan heeft hier dus wel invloed, doch dit komt, omdat men

bij het inlopen der ribbels geen gehalte maar in zekere zin transport meet; deze waarnemingen zijn echter volkomen waardeloos door het optredende verlies, het zand kan er even gemakkelijk uit als het erin gekomen is.

Men meet dus op deze wijze noch gehalte noch transport.

De gehaltemeter is dus niet bruikbaar voor het meten van het gehalte onmiddellijk op de bodem, men moet buiten het gebied van het rollende transport blijven.

Het onderzoek naar de juistheid van de waarden verkregen met de gehaltemeter leverde meer moeilijkheden op. Immers zijn de vervormingen groot in een profiel, breed 50 cm en diep 30 à 40 cm, en hoe moet men de juistheid van de gevonden waarden toetsen ?

Uiteindelijk werd de proef als volgt ingericht (zie bijlage 9).

De bodem van de goot werd voor een deel bedekt met een laag zand van  $\pm 20$  cm dikte. Aan het einde van deze zandlaag, tevens ter plaatse van de meetraai, werd een houten meetbrug geconstrueerd om een vaste en onveranderlijke bodem te verkrijgen en opwervelingen, die voor deze kwantiteitsmetingen ongewenst waren, te voorkomen. Voorbij deze meetraai ontstond een profielsvergroting van  $\pm 50\%$  aangezien h veranderde.

Het uit het eerste deel der goot getransporteerde zand kwam hier voor het overgrote deel tot bezinking; het restant werd opgevangen in de zandvanger, die zich in de kelder bevindt. De opzet was om het zand, dat door het water getransporteerd werd, in de meetraai te meten met behulp van de gehaltemeter en te vergelijken met de hoeveelheid zand bezonken in het gootgedeelte voorbij de meetraai en in de zandvanger.

Door vergelijking van deze uitkomsten kan men dus de juistheid der waarde verkregen met de gehaltemeter toetsen aan het werkelijk opgetreden transport. Uit de eerste serie proeven was gebleken, dat de bodem enige tijd nodig heeft zich aan te passen.

Hiertoe werd gedurende  $\pm 1/2$  uur gedraaid om de bodem gelegenheid te geven zich aan te passen, daarna werd het zand, dat voorbij de meetraai bezonken was, verwijderd en kon de eigenlijke proef beginnen. De afvoer en stand van de stuwklep (dus de waterdiepte) werden constant gehouden en gedurende  $\pm 4$  uur werden 75 monsters met de gehaltemeter genomen zodanig, dat vrijwel het gehele profiel gemeten werd met uitzondering van een strook langs de bodem van  $\pm 2$  cm om buiten het bereik van het bodemtransport te blijven (zie vorige serie proeven) en een strook van 5 cm langs de wanden tengevolge van enkele uitstekende delen van de gehaltemeter. Er werd gemeten in drie verticalen t.w. in de as van de goot en aan weerszijden op 12 cm uit de as. De ashoogten van de bak bedroegen steeds 6, 7.5, 9.2, 12.5, 15.5, 20, 25 cm + bodem, terwijl elke waarneming een gemiddelde gaf over een profielsgedeelte van  $7,5 \times 16$  cm (de doorsnede van de gehaltemeter). De waarnemingen overlaptten elkaar dus.



Teneinde de stroomverdeling in de goot te leren kennen werd het gehele profiel met behulp van een klein model Ott-stroommeter afgetast.

Na afloop van elke proef werd het zand, bezonken voorbij de meetraai en in de zandvanger van de installatie, bij elkaar gevoegd en bezonken in een bak met een bekende oppervlakte, waardoor na hoogtemeting het volume kon worden bepaald. Het zandgehalte van het watermonster, verkregen met de gehaltemeter werd namelijk eveneens door bezinking in een gecalibreerd glas bepaald, zodat beide meetwijzen met elkaar in overeenstemming waren.

Voor de hieronder te beschrijven proef gold het volgende (Zie bijlage 8 en 9).

$Q=75$  l/sec.

$h_1 = 30$  cm De proefduur = 230 minuten (d.i. 13.800 sec.)

$h_2 = 45$  cm Gem. korrelgrootte van het zand:  $176 \mu$

$b = 50$  cm

De gemiddelde snelheid over het gehele profiel in de meetraai bedroeg dus:

$$\frac{Q}{F} = \frac{75}{15} = 5 \text{ dm/sec} = 50 \text{ cm/sec.}$$

Volgens de Ott-metingen bedroeg dit gemiddelde 51,5 cm/sec, doch hierbij dient aangetekend te worden, dat de stromen vlak nabij wanden en bodem niet gemeten konden worden, zodat dit gemiddelde iets te hoog moet liggen. De snelheidsverdeling kon echter toch met voldoende nauwkeurigheid worden bepaald.

De resultaten der zandmetingen waren als volgt:

VOOR ZIJVERTICALEN

Hoogte hart bak boven de bodem in cm						
6	7.5	$9^2$	$12^5$	$15^5$	20	25
0,8	0,5	0,4	0,2	0,1	0,03	0,01
1,3	0,8	0,65	0,1	0,15	0,02	0,01
0,5	0,65	0,5	0,3	0,05	0,01	0,01
0,5	0,4	0,25	0,1	0,1	0,03	0,01
0,9	0,5	0,2	0,3	0,1	0,06	0,01
<u>Gem: 0,8</u>	<u>0,57</u>	<u>0,4</u>	<u>0,2</u>	<u>0,1</u>	<u>0,03</u>	<u>0,01</u>

Voor as goot: 0.0.0.

## VOOR AS GOOT

	1,4	0,8	0,8	0,15	0,1	0,01
	1,4	0,75	0,6	0,4	0,05	0,01
	0,85	1,2	0,3	0,35	0,2	0,01
	1,0	0,6	0,3	0,3	0,05	0,01
	1,35	0,7	0,5	0,15	0,1	0,01
Gem:	1,2	0,81	0,5	0,27	0,10	0,01

Uit deze waarden kan men dus de horizontale en verticale zandgehalteverdeling bepalen, waarbij men in aanmerking moet nemen, dat deze waarden de gemiddelde zandgehalten zijn over de afmetingen van de bak.

In verticale zin gerekend, zal dus het aangrijpingspunt niet in het hart van de bak liggen maar er iets onder, omdat het zandgehalte in de verticaal niet rechtlijnig verloopt. Aangenomen wordt voorlopig, dat dit aangrijpingspunt ligt op 40% van de bakhogte (3 cm). Nu kan men dus de gehalte verticaal voor de as van de goot en de zijverticalen samenstellen.

Op analoge wijze is uit de drie verticaal metingen de horizontale zandgehalteverdeling te construeren. Nu blijkt uit beschouwing van de laatste, dat het gemiddelde zandgehalte praktisch weergegeven wordt in de beide zijverticalen. De waarden in de middenverticaal liggen  $\pm 50\%$  hoger.

Zet men nu de in de zijverticalen gemeten waarde uit, dan verkrijgt men dus de gemiddelde gehalteverticaal, die uit de metingen volgt van 30 cm + tot 2,25 cm + bodem en voor de onderste laag van circa 2 cm geëxtrapoleerd wordt. Deze blijkt zeer dicht benaderd te worden door de formule:

$$Z_{gh} = 2.7 e^{-0.225h}$$

Hierin is  $Z_{gh}$  = zandgehalte op een hoogte h cm + bodem.  
Voor de middenverticaal luidt de formule:

$$Z_{gh} = 4.5 e^{-0.225h}$$

OPMERKING: Deze formules hebben dus de vorm:

$$Z_{gh} = Z_{go} e^{-mh}$$

Deze vorm is ook gevonden voor de bovenrivieren (lit.24)

De waarde van m varieert nogal in de praktijk en wordt waarschijnlijk geheel of voor het overgrote deel bepaald door korrelgrootte, bochtwerking, turbulentie.

Voor Lek en Rijn is de orde van grootte 3 à 5 (lit. 2 en 22) afgeleid uit:

Rijn	(?) 0,6	(lit.24)
Westerschelde	2,5	

Voor genoemde gootproef, overgebracht in dezelfde dimensies,  $\pm 22,5$ , dus ongeveer het tienvoudige van de benedenrivieren. Dit verschil wordt hoogstwaarschijnlijk veroorzaakt door schaafeffect.

Voor uitvoeriger bespreking van deze ~~functie~~ functie en de waarden van  $m$  moge verwezen worden naar het meergenoemde onderzoek naar de zandbeweging.

Uit de formule voor de gemiddelde zandgehalteverticaal kan  $m$  dus de gemiddelde waarde over de gehele verticaal berekend worden.

De oppervlakte van de zandgehalte verticaal bedraagt dus:

$$\int_0^{30} 2.7 e^{-0.225h} \cdot dh = \left| \frac{2.7}{-0.225} e^{-0.225h} \right|_0^{30} = 12$$

Het gemiddelde zandgehalte over de hoogte =  $\frac{12}{30} = 0,4$  cc/5 l.

Het transport bedraagt dus

$$\text{gehalte} \times Q \times \text{tijd} = 0,4 \text{ cc/5 l} \times 75 \text{ l /sec.} \times 13.800 \text{ sec.} = 82.800 \text{ cc.}$$

Het na beeindiging der proef gemeten transport bleek 82.500 cc te bedragen, zodat hieruit blijkt, dat met de gehaltemeter zeer betrouwbare resultaten worden verkregen.

Nogmaals zij opgemerkt, dat hier een specimen gegeven wordt van een serie met gelijkwaardige resultaten.

Is de aanname, dat het gem. zandgehalte ligt op 0.4 van de bakhoogte echter wel juist? Immers hiervan hangt zeer veel af bij de extrapolatie naar de bodem toe. Stel dat de as van de gehaltemeter zich bevindt op 6 cm + bodem dus de gemeten hoogte ligt tussen 2.25 en 9.75 cm + bodem.

Het gemiddelde van dit deel van de gehalteverticaal bedraagt blijkens de metingen ~~0,8~~  $0,8 \text{ cc/5 l}$  te zijn.

Berekend is dit gemiddelde

$$\frac{\int_{2.25}^{9.75} 2.7 e^{-0.225h} dh}{7.5} = \frac{\left[ \frac{2.7}{-0.225} e^{-0.225h} \right]_{2.25}^{9.75}}{7.5} = \frac{5.96}{7.5} = 0.795 \text{ cc/l}$$

wat optreedt op + 5,3 cm + bodem. De aanname is dus juist geweest.

Wat betreft de extrapolatie van 2 om + naar de bodem het volgende: het meten van transport, c.q. gehalte op de bodem is voor fijn zand niet mogelijk. Dit zal binnen ruime grenzen sterk fluctueren evenals de stroomsnelheden, en men moet dus een aanname doen.

Op bijlage 8 is tevens geconstrueerd de transportverticaal (gehalte  $\times$  snelheid). Hieruit blijkt, dat in deze onderste laag + 32% van het totale transport plaats heeft (tenminste in de goot).

Is nu onmiddellijk bij de bodem het zandgehalte meer dan uit de extrapolatie volgt, zo moet men mede in aanmerking nemen, dat in deze zône de zandsnelheid zeer zeker kleiner is dan de watersnelheid, waardoor het transport toch weer gereduceerd moet worden. Al met al lijkt deze extrapolatie, alhoewel misschien aanvechtbaar, toch weinig van de werkelijkheid afwijkende resultaten te geven.

Het is dus juist gebleken dat met de gehaltemeter resultaten verkregen worden, die <sup>niet of</sup> zeer weinig (enkele procenten) van de werkelijkheid afwijken. In de volgende § zal nog op de metingen worden teruggekomen, die door de dir. Benedenrivieren met de gehaltemeter werden verricht en de uitkomsten aan de practijk "geijkt" worden.

Het in de aanvang van deze § gemelde onderzoek naar de betrouwbaarheid van de C.C. heeft geleid tot de ontwikkeling van de Delftse fles, die op het-

zelfde principe (nl. stroomverlamming) berust als de C.C. De verbetering bestaat uit een aan de stromingseigenschappen van het water aangepaste uitwendige vorm ( flesvorm ), verkleining van de instroomopening, en verbetering van de uitstroming en het aanbrengen van schotten in de fles, waardoor het water langer in het toestel blijft. De hydraulische coëfficiënt bedraagt iets meer dan 1 (dus geen opstuwing). Of er verliezen optreden is niet bekend. In ieder geval zal dit aanzienlijk minder zijn dan bij de C.C. Het instrument wordt als een goede aanwinst beschouwd (lit.10).

Het aantal metingen hiermede verricht is echter te gering om hierop een alleszins betrouwbaar oordeel te kunnen funderen, al lijkt het er wel op, dat de uitkomsten bevredigend zijn. Een nader onderzoek naar de eventuele verliezen lijkt gewenst.

De directie Bovenrivieren heeft in samenwerking met de laboratoria te Delft en Zürich een bodemtransportmeter (B.T.A.) geconstrueerd, waarvan de hydr. coëfficiënt  $\pm 1$  bedraagt (lit 2).

De ijkinggrafieek van dit toestel is te vinden op bijlage 3.

Deze transportmeter is, als alle toestellen met een net, alleen geschikt te achten voor korrelgrootten groter dan  $300 \mu$  in verband met de maaswijdte van het net. Op de bovenrivieren heeft  $\pm 10\%$  van het zand een kleinere korrelgrootte en is dus dit toestel zeer bruikbaar, temeer daar gebleken is dat aldaar het bodemtransport t.o.v. het zwevende veel belangrijker is dan op de benedenrivieren, waar het zand veel fijner is. Het gevolg van deze kleinere korrelgrootte is een groter verlies en verstopt raken der mazen, waardoor de werking van het instrument sterk vermindert. Immers hoe minder uitstroomoppervlak (of hoe groter vulling) des te minder de werkingscoëfficiënt wordt tengevolge van het afnemen der hydraulische coëfficiënt.

Vergelijkende metingen tussen Delftse fles ~~xxx~~ en B.T.A. verricht op de Oosterschelde gaven een bevestiging van bovenstaande. Op bijlage 5 is hierbij voor de verschillende snelheden de verhouding Delftse fles en B.T.A. uitgezet, waarbij is aangenomen het gunstigste geval, n.l. dat de Delftse fles geen verliezen heeft en goed meet (100%). In % zijn hierop de resultaten van de B.T.A. uitgezet t.o.v. de Delftse fles. Hoe groter de snelheid, des te gunstiger is de verhouding (tengevolge van het verstopt raken van het zand-net, waardoor het verlies vermindert). Ook de ervaringen van hen, die er voor zandmetingen op de benedenrivieren mee werkten, zijn ongunstig.

Het toestel is alleen geschikt voor materiaal grover dan  $300 \mu$ . Verkleining der maaswijdte leidt niet tot de gewenste verbetering, omdat hierdoor het net nog spoediger zal dichtslaan en het schoonmaken bezwaarlijk en tijdrovend gaat worden.

Van de verbeterde Canter Cremers, die een zeer kleine instroomopening en inwendig een horizontaal schot heeft kan over de betrouwbaarheid nog

niet veel gezegd worden. Een nader onderzoek is gewenst.

Wel staat vast, dat ook hier de verliezen aanmerkelijk gereduceerd zijn t.o.v. de gangbare C.C.

#### § 4 DE BETROUWBAARHEID DER VERRICHTTE METINGEN EN DE BEREIKTE RESULTATEN

Het bepalen van de absolute grootte der zandbeweging stuit in de praktijk op bezwaren omdat uit de vorige § genoegzaam is gebleken dat het bij de beschikbare transportinstrumenten optredende verlies dit belet. De Canter Cremers heeft al vrij grote verliezen. De B.T.A. is voor fijn zand ongeschikt; blijven dus over de Delftse fles en de gehaltemeter.

Van de eerste zijn te weinig metingen beschikbaar om al een conclusie te kunnen trekken ter zake van de betrouwbaarheid, al zijn de bereikte resultaten hoopgevend (zie hieronder).

Ten tweede is het meten van rollend transport ~~uiteerst~~ moeilijk daar een op de bodem geplaatst toestel makkelijk "hapt", d.w.z. bodemzand opschept.

Ten derde is het gelijktijdig verrichten van stroom- en zandmetingen in het zelfde punt niet mogelijk.

Daar echter het rollende transport op onze benedenrivieren t.o.v. het zwevende transport niet zo belangrijk is (lit.10) (bijlage 6) vanwege de kleine korrelgrootte en maar een betrekkelijk gering deel is van het totale transport in de verticaal is de fout, hierdoor gemaakt, ook vrij gering.

Door steeds op dezelfde hoogte boven de bodem te meten kan men wel de verhoudingen bepalen en dit is al zeer belangrijk (lit 5) al moet men niet verwachten dat men in enkele dagen met behulp van de ter beschikking staande instrumenten een volledig inzicht in de zandbeweging krijgt (lit.9).

Ook is uit de vorige § en uit bijl. 3 wel gebleken dat ook de diverse "ijkingen" nogal onderling verschillen. Men krijgt hieruit wel enigszins de indruk dat ijkingen van zandtoestellen een moeilijke zaak is en een ijking niet zonder meer een waarmerk van echtheid genoemd mag worden.

Veel hangt af van de wijze waarop de ijking geschiedt en welke wijze is meer dan een benadering van de werkelijkheid? Laboratoriumonderzoek geeft echter wel een indruk van de min of meer grote betrouwbaarheid.

Daarnaast echter moet men de verkregen uitkomsten toetsen aan de praktijk en hier komen interessante dingen aan het licht.

Dezerzijds is thans een onderzoek gaande naar het verband tussen stroom-snelheid en zandgehalte, zandtransport, de verdeling in de verticaal, invloed korrelgrootte enz. voor de Ooster- en Westerschelde. Hieruit is afgeleid zowel uit transportmetingen met D.F. voor de laag van 50 - 300 cm +

bodem als uit gehaltemetingen voor de laag van 6 - 74. cm + bodem , de gehaltekrommen en gem. transportkrommen (bijl. 6).

Hieruit blijkt, dat op 3 m + bodem nog  $\pm 10$  à 20% getransporteerd wordt van het transport op 10 cm + bodem.

In deze grafiek is voor gehalte, snelheid en transport de verhouding aangegeven t.o.v. 10 cm + bodem.

Op de Westerschelde is het transport op 3 m + bodem nog iets groter dan op de Oosterschelde. De delen der kromme afgeleid uit transport en gehaltemetingen sluiten goed aan.

Voor het deel van 6 cm + tot de bodem is een extrapolatie toegepast. Ook uit deze kromme blijkt, dat het transport in deze laag t.o.v. dat over de gehele verticaal een vrij gering deel is. ( $\pm 10$  %)

Uit deze figuren blijkt ook, dat men ter benadering kan zeggen voor de Oosterschelde:

i/d bodem

gem. zandtransport verticaal = zandtransport op 10 cm +  $\times 100$  cm (hoogte)  
of in woorden; het transport in de verticaal is het product van het transport op 10 cm + bodem voor 1 cm hoogte en de hoogte van 100 cm boven de bodem, hierbij is verwaarloosd het transport boven 3 m + en is het gem. van 1 m hoogte dus iets te laag.

Uit een reeks metingen (Lit 11) met de gehaltemeter op 0,10 m + bodem is door vermenigvuldiging van gehalte en afgelegde weg voor de Oosterschelde het transport bepaald op 10 cm boven de bodem voor een hoogte van 1 cm. De resultaten hiervan zijn gegeven op bijlage 7. Hieruit blijkt voor raai 6 een restant ebtransport van  $13 \text{ m}^3$  per getij voor 10 cm + bodem en voor raai 4c een restant vloedtransport van  $5 \text{ m}^3$  per getij, d.w.z. uit de zak van de Oosterschelde verdwijnt per getij over de hele verticaal  $(13 + 5) \times 100 \text{ cm} = 1800 \text{ m}^3$ , d.i. per jaar  $1800 \times 706 \approx$  rond  $1.300.000 \text{ m}^3$  volgens de metingen met de gehaltemeter.

Aan de hand van hydrografische kaarten is een onderzoek ingesteld naar de verdieping c.q. verondieping van de Oosterschelde (lit.15) Hierin wordt voor bovenbedoeld deel van de Oosterschelde becijferd een verdieping van  $84 \text{ mill. m}^3$  in 61 jaar, d.i. gem. per jaar rond  $1.400.000 \text{ m}^3$ . Hierbij dient men te bedenken dat de metingen in het zomerhalfjaar verricht zijn en dus aan de lage kant zijn, t.o.v. het jaargemiddelde daar men 's winters tengevolge van stormen, grotere transporten mag verwachten en de bepaling van de  $84 \text{ mill. m}^3$  voor een iets groter gebied geldt.

De treffende overeenkomst van beide benaderingen toont toch ook hier wel duidelijk aan, dat het zeer wel mogelijk is met de gehaltemeter uitkomsten te verkrijgen, die alleszins bruikbaar zijn en t.o.v. de werkelijkheid niet zeer veel afwijken, althans in aanzienlijk mindere mate dan die der transporttoestellen.

## § 5 TOEKOMSTIGE METINGEN

Er wordt momenteel, zoals gezegd, aan de hand van de metingen verricht door de RWS Dir. Benedenrivieren een onderzoek ingesteld naar het verband tussen zandgehalte en stroomsnelheid, de verdeling in de verticaal, de invloed van de korrelgrootte van het bodemmateriaal teneinde te komen tot een empirische formule. Het is nog voorbarig hierover veel mede te delen. Een enkele opmerking moge echter volgen. Gebleken is dat het verband tussen zandgehalte op 10 cm + bodem en stroomsnelheid op 1 m + bodem een parabool is van de  $2^{\circ}$  à  $5^{\circ}$  graad, zoals dr.ir. van Veen ook vaststelde voor het zee-gat van het Vlie (lit.5). Voor de Oosterschelde kon tevens de invloed van de korrelgrootte worden aangetoond. Op de Westerschelde zijn daarentegen opvallende verschillen gevonden die niet uit de metingen verklaard konden worden (wind, zeevang, zoutgehalte, korrelgrootte), doch het schijnt aan de hand van de weinige beschikbare metingen, dat het slibgehalte van de bodem hier een rol speelt. Ook bodemvorm zal dit doen, doch hierover zijn in het geheel geen gegevens beschikbaar.

Aan de hand van dit onderzoek zijn enige punten naar voren gekomen, die bij de voorbereiding van toekomstige metingen in overweging genomen kunnen worden.

Zandmetingen zoals gebruikelijk met 2 toestellen (bv. gehaltemeter en verbeterde C.C. of Delftse fles), het zo hoog mogelijk opvoeren van de frequentie der metingen speciaal gedurende de periode van grote stroomsnelheden. Het verrichten van vergelijkende metingen met de verschillende instrumenten teneinde een inzicht te verkrijgen in de nauwkeurighedsgraad en ter onderlinge toetsing.

Korrelgrootte bepaling in de verticaal. Uitbreiding der verticaalmetingen tot op grotere hoogte (b.v. 3 m +)

Stroommetingen geregistreerde bodemstroommetingen teneinde de graad der fluctuaties te bepalen, verticaalmetingen.

Bodemonderzoek In het meetpunt gedurende de meting bodemmonsters (kentering, eb, vloed), bepaling slibgehalte en korrelgrootte. In een flinke omtrek (b.v. 1 km) bodemmonsters ter bepaling van bodemgeaardheid (korrelgrootte, slib- en kleibanken) met grijper en boortoestel, dus factoren die de zandbeweging in het meetpunt kunnen beïnvloeden; onderzoek naar de bodemfiguratie met behulp van echolood en ribbelmeter om de ruwheid van de bodem te leren kennen. Bij de echopeilingen late men de vlet zich drijvend op de stroom verplaatsen.

Het maken van korrelgrootte-kaarten voor het meetgebied is zeer aan te bevelen in verband met latere metingen in hetzelfde gebied.



Het schijnt namelijk dat de korrelgrootte in een bepaald gebied over een zekere tijd variabel kan zijn.

Verder de gebruikelijke zout, wind, temperatuur, zeevang en stroommetingen.

De keuze van het meetpunt zal met overleg moeten geschieden, waarbij het ook wenselijk is de metingen op en om platen en drampels uit te breiden, profielmetingen in en nabij bochten te verrichten, het trekken van bankjes en ribbels op platen te meten, kortom een zo groot mogelijke verscheidenheid in plaats en omstandigheden, waardoor het opsporen van de oorzaken der gecontateerde verschillen bevorderd kan worden.

Het is niet nodig te zeggen dat aan de nauwkeurigheid en zorg, waarmee de metingen verricht worden de grootst mogelijke aandacht besteed wordt en automatisch werken vermeden moet worden.

## § 6 SAMENVATTING

De keuze van het te gebruiken instrument wordt voor een zeer belangrijk deel bepaald door de korrelgrootte van het getransporteerde materiaal. Bedraagt deze meer dan 300  $\mu$ , dan kan men met goed gevolg de zandvangsers met een net gebruiken b.v. de B.T.A., waarmee men op de bovenrivieren, waar het zand grover is dan 300  $\mu$ , goede resultaten heeft verkregen.

Voor fijner materiaal zijn deze instrumenten af te raden, omdat het net te veel doorlaat en spoedig dichtslaat. Kleinere maaswijdte is niet aan te bevelen, omdat schoonmaken dan zeer bezwaarlijk wordt en het verstoppert bespoedigd wordt.

Voor zand waarvan de korrelgrootte lager ligt dan 300  $\mu$  en slib, wat op de benedenrivieren het geval is, is men aangewezen op de gehaltemeter, die ook de allerfijnste fracties meet en geen verliezen heeft. Men moet dan gebruik maken van de gehaltemeters in horizontale uitvoering met onmiddellijke vulling. De verticale uitvoering is wegens sterke verstoring van het stroombeeld bij de instroming niet geschikt in stromend water en hoogstens geschikt voor slibmetingen.

De zandvangsers met hydrodynamische werking hebben **verlozen**, afhankelijk van stroomsnelheid en korrelgrootte. Het ijken van deze instrumenten is zeer moeilijk omdat men hierbij ten allen tijde de werkelijkheid vervormt. Men meet verhoudingswaarden en geen absolute waarden. Proeven verricht door Hjulström hebben aangetoond, dat voor fijner materiaal alleen de gehaltemeter aan te bevelen is. Ook de pompmethode staat ten achter bij monsternamen, omdat het gelijkhouden van zuigsnelheid en watersnelheid uitermate moeilijk is (lit. 16)

De photoelectrische methode is niet aan te bevelen omdat de *kleur en de* samenstelling van water en getransporteerd materiaal van zeer grote invloed is. Deze samenstelling is zelden constant.

Het meten van bodemtransport is zeer moeilijk. De toestellen "happen" spoedig en hebben alle verlies en afnemende werking. Voor fijn materiaal ( $< 300 \mu$ ) is geen toestel geschikt. Voor zand grover dan  $300 \mu$  is de BTA het enige geschikte toestel.

Daar staat tegenover dat het bodemtransport bij fijn materiaal relatief geringer is t.o.v. het zwevende transport.

Hoe grover het materiaal, hoe meer het bodemtransport gaat overwegen, tot men stenen heeft, die uitsluitend door bodemtransport worden verplaatst. Bij slib is het transport over de gehele verticaal gelijkmatig verdeeld. De aangewezen weg ter bepaling van het bodemtransport bij fijn materiaal is extrapolatie <sup>vlg. de c-functie</sup> uit het zwevend transport, wat blijkens <sup>onse</sup> <sup>te leiden</sup> goede resultaten geeft en ~~veel~~ toelaatbaar lijkt.

Het verdient aanbeveling gehaltemetingen te verrichten in samenwerking met b.v. de Delftse Fles of verbeterde G.C.

Bij toekomstige metingen is het gewenst de bodenvorm en slibgehalte van het bodemmateriaal in de omtrek van het meetpunt te bepalen.

's-Gravenhage, 28 Februari 1948

De Opzichter 2e Klasse

Bijgaande heb ik de eer U een twaantal nota's te doen toekomen, voor welke samenstelling ik den opzichter 2e klasse R.H.J. Morra opdracht gaf.

Het betreft studies omtrent vraagstukken waarover wel veel literatuur aanwezig is, doch waarover nog geen algemeen aanvaardde opvattingen bestaan, zelfs niet wanneer men uitsluitend met de binnenlandse opvattingen rekening houdt.

Wat de nota betr. de zandmeetinstrumenten betreft worden de verschillende toestellen in groepen ingedeeld. De voornaamste zijn:

1. de groep zandvangera (type Canter Gremers, type Arnhem en Delftse Fles.) De uitstroming van de oudere typen (met grote mondopening) kon hierbij belangrijk zijn (bijlage 3), zodat naderhand typen genomen werden met zeer kleine mondopening, waar zelfs bij krachtige snelheden het slib in achter blijft. Of de "Arnhem" voor fijn zand geschikt is valt te betwijfelen omdat de maaswijdte niet verkleinbaar is zonder verstoppinggevaar.
2. Groep gshaltemeters. Dit is vermoedelijk de meest algemeen gebruikte groep. Bij de benedenrivieren worden deze instrumenten naast de Canter Gremers (eerst niet, later wel verbeterd) en Delftse Fles sinds 1930 toegepast. Uit een aantal experimenten in een proefgoot bleek dat de tijd van geopend staan geen merkbare invloed heeft op de verkregen waarden, hetgeen trouwens ook reeds uit proeven in de natuur in ondiep water gebleken was. (bijlage 4) De stand van de kleppen veroorzaakt geen storing bij de instroming. Een nadeel is dat het toestel niet geschikt is voor de bepaling van het bodemtransport, hetgeen bij zandvangera als de "Canter Gremers" of de Delftse Fles evenmin het geval is.
3. Kommethode. Deze is in het benedenrivierenstelsel nog niet toegepast. Op de bovenrivieren blijkt de methode goed te voldoen, terwijl Ir. van Bendegom thans te Hoorn proeven neemt in het tijegebied. Of dit een concurrent zal zijn van de zandvanger zal misschien binnen afzienbare tijd blijken. Uiteraard kan men met de pomp ook niet te dicht bij de bodem komen.  
De ervaring sinds 1930 bij de benedenrivieren opgedaan is dat de zandvanger (vierbakkentestel) het meest geschikt is voor toestanden zoals die in het tijegebied voorkomen. Ook is dit instrument geschikt om de andere toestellen te ijken. Het is wel het meest exacte toestel dat wij bezitten. Schat men de zandkromme beneden het meetbereik, (10 cm-laag bij de bodem) en boven het meetbereik, hetgeen blijkbaar vrij juist kan geschieden, dan vindt men uit de zandmetingen hoeveelheden verplaatst zand welke vrij goed met de hydrografische lodingen overeenkomen. Zo leverde een raming van het zandtransport in de oostelijke kom van de Oosterschelde op grond van zandgehalte metingen een verlies van

1.400.000 m<sup>3</sup> per jaar op en was dit op grond van de hydrografische opnemingen gedurende een periode van 51 jaren gemiddeld 1.400.000 m<sup>3</sup>.

Ook overigens bleken de mogelijke toetsingen bevredigende resultaten te geven. Wanneer de zandhoeveelheden welke bij vloed en bij eb werden gemeten van elkaar worden afgetrokken, verkreeg men vloedoverschotten of eboverschotten welke gemiddeld als juist konden worden aanvaard, daar zij in overeenstemming waren met de werkelijkheid voorspeld die uit de eb- en vloedchaar-systemen en uit baggeringen, e.d. konden worden afgeleid.

4. Metingen met photo-elektrische gel. Deze werden ten aanzien nog niet verricht.

Hoewel dus getracht is geworden steeds nauwkeuriger te meten met steeds betere instrumenten is toch het basisinstrument voor de benedenrivieren en zeeën de gehaltemeter gebleven en bestaat er geen aanleiding aan de juistheid der daarmee verkregen gegevens te twifelen. Er moet daarbij worden opgemerkt dat in het tiggelied het rollend materiaal naar verhouding veel geringer percentage van het zandtransport vertegenwoordigt dan in de bovenrivieren.

---


Wat de nota betr. de zandverticaal aangaat werd met behulp van de turbulente theorie en de parabolische stroomverticaal tot een formule gekomen welke de waarnemingen omtrent het zandtransport zeer goed benadert. (formule 28)

De gebruikelijke (Amerikaanse) formule voor zandtransport steunt op een logaritmische snelheidsverdeling en geeft om deze reden afwijkingen met de waargenomen zandmetingen, welke tot nog toe door de Amerikanen niet konden worden verklaard. (formule 29)

Gemeend wordt dus dat de parabolische snelheidsverdeling in een verticaal theoretisch en praktisch de beste resultaten geeft. Een en ander volgt uit de figuren 12 t/m 16.

Ik geef U beleeft in overweging deze nota's aan den Dir. Gen. te doen toekomen.

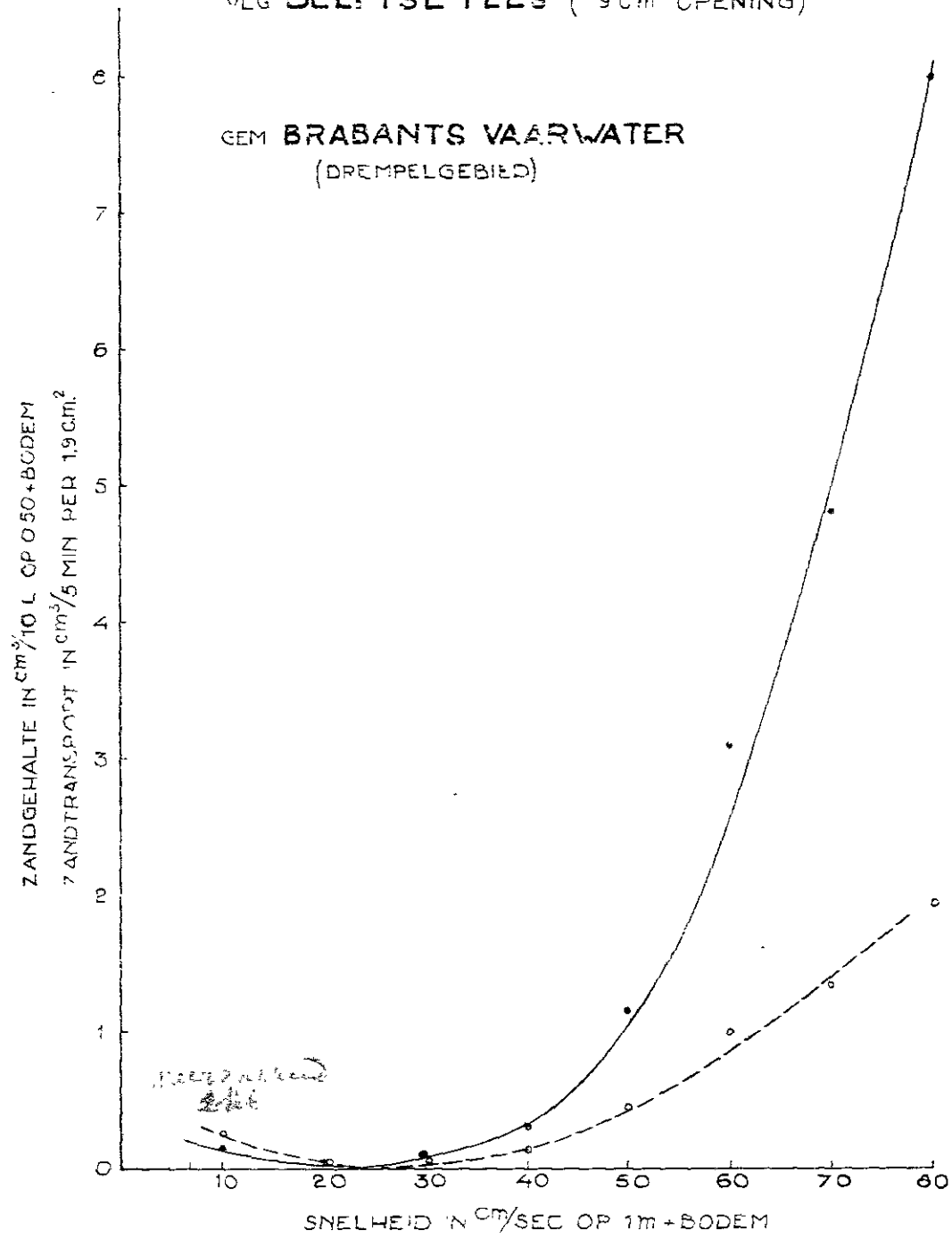
De hoofdingenieur,





VOORBEELD  
 VERBAND ZANDTRANSPORT 0.50 + BODEM  
 STROOMSNELHEID OP 1m + BODEM  
 VLG DELFTSE FLES (19 cm<sup>2</sup> OPENING)

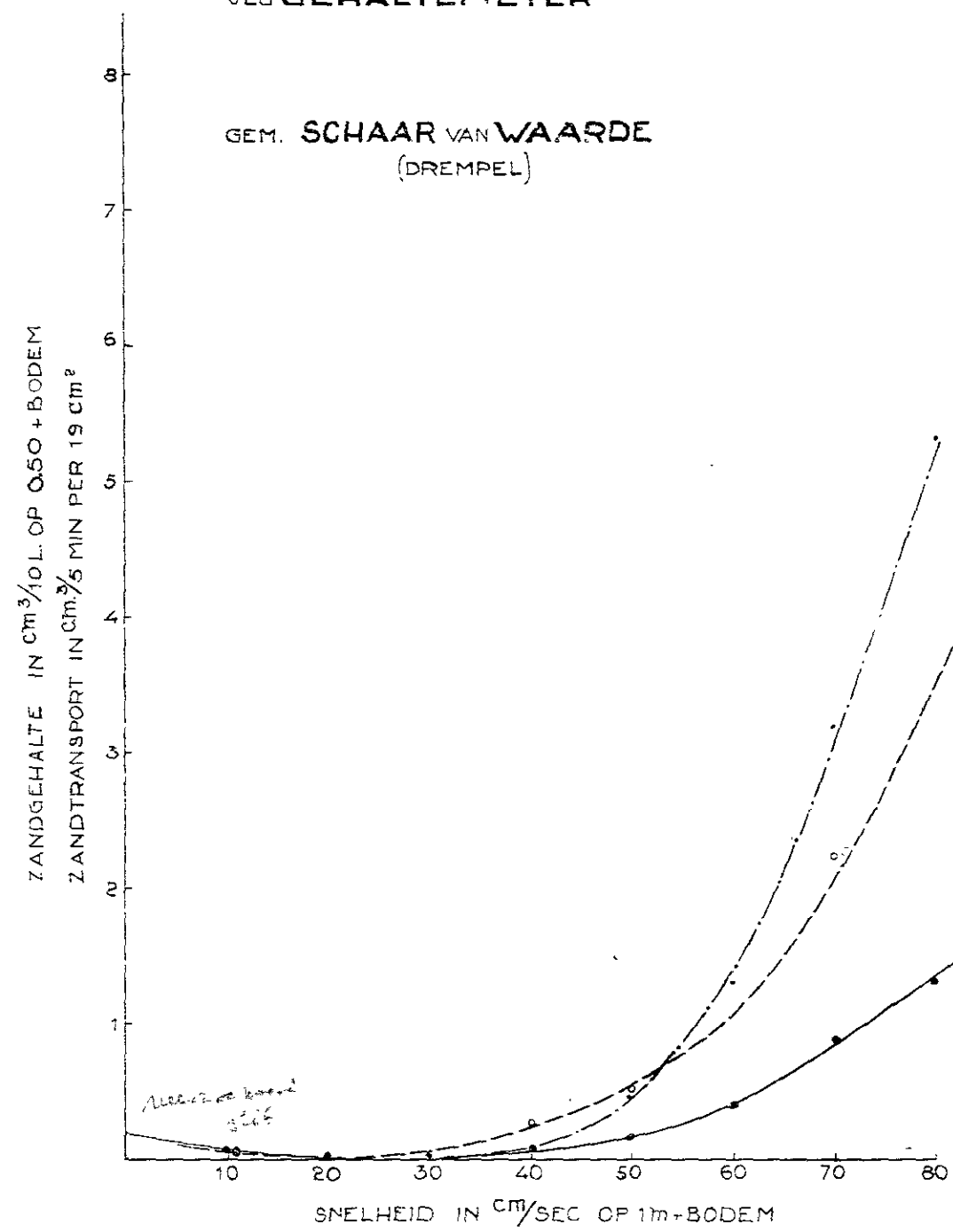
GEM. BRABANTS VAARWATER  
 (DREMPELGEBIED)



— ZANDTRANSPORT GEMETEN  
 - - - GEHALTE OMGEREKEND

VOORBEELD  
 VERBAND ZANDGEHALTE 0.50 + BODEM  
 STROOMSNELHEID OP 1m + BODEM  
 VLG GEHALTEMETER

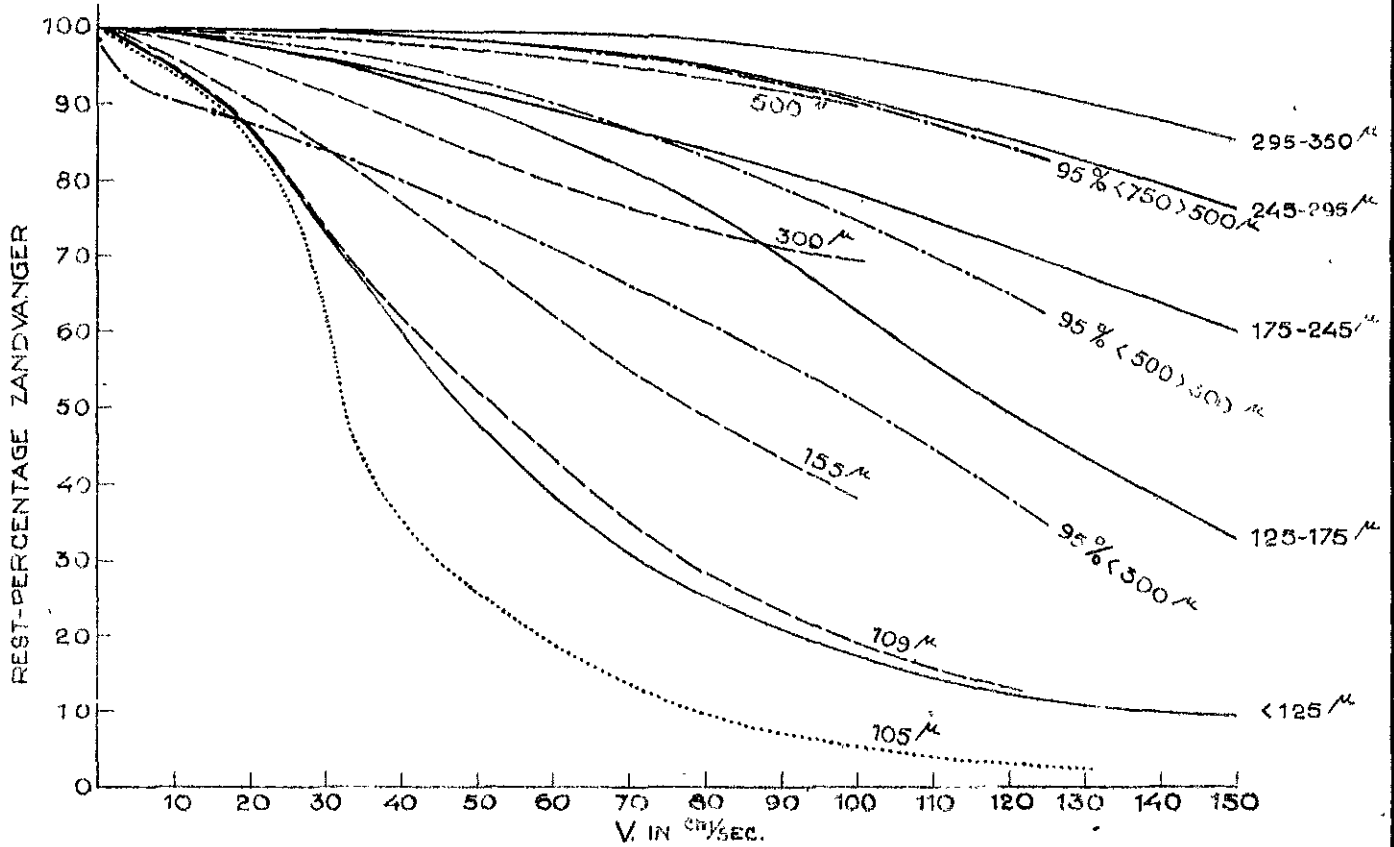
GEM. SCHAAR VAN WAARDE  
 (DREMPEL)



- - - ZANDGEHALTE 0.10+ GEMETEN  
 — " " 0.50- "  
 - · - " TRANSPORT OMGEREKEND

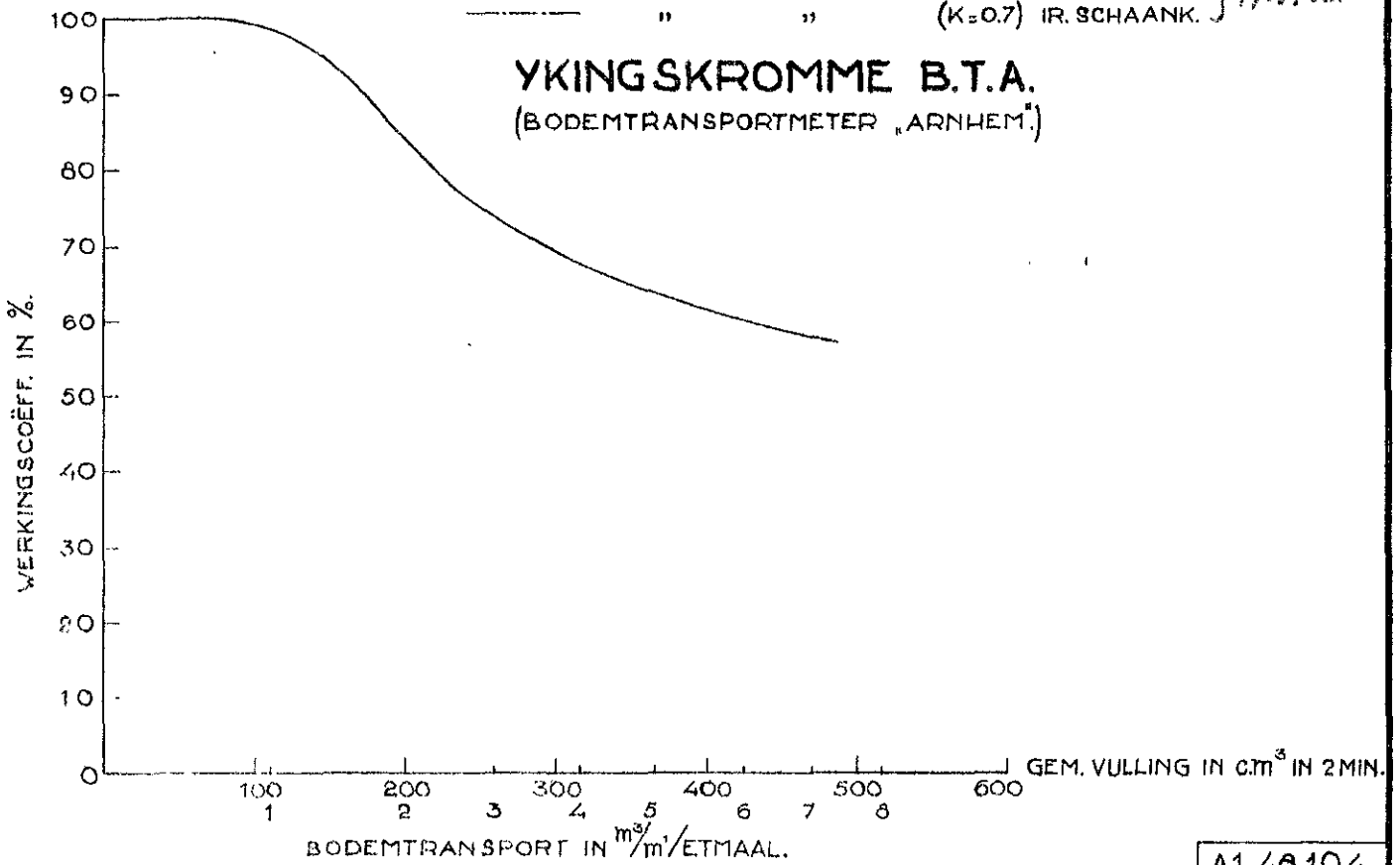
# YKINGSKROMMEN ZANDVANGER

VOOR VERSCHILLENDE KORRELGROOTTEN.  
(TYPE „CANTER-CREMERS“)



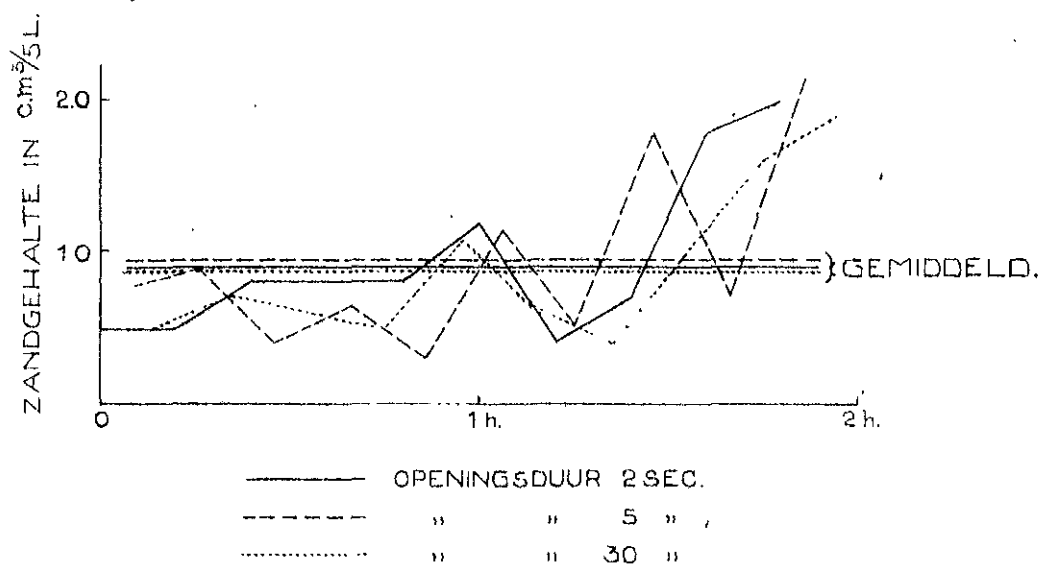
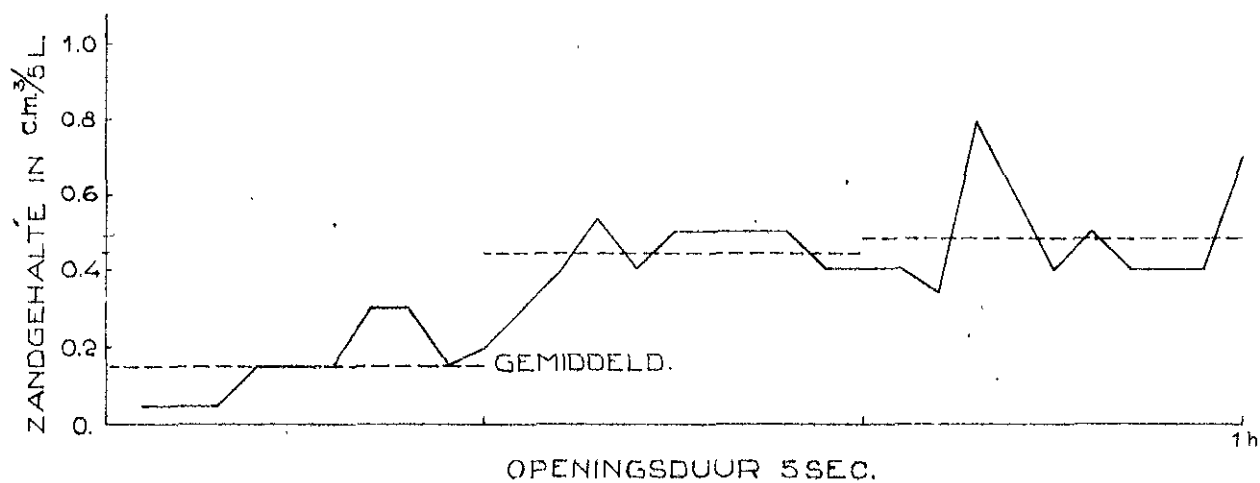
YKINGSKROMME:   
 ————— GROTE ZANDVANGER (K=0.8) DELFT. } 45 cm<sup>2</sup>  
 - - - - - " " IR. KLEINJAN. }  
 ······ KLEINE " VLG. GEHALTEMETER (IR. KLEINJAN.)  
 - - - - - " " (K=0.7) IR. SCHAANK. } 17.25 cm<sup>2</sup>

## YKINGSKROMME B.T.A. (BODEMTRANSPORTMETER „ARNHEM“)



A1.48.104

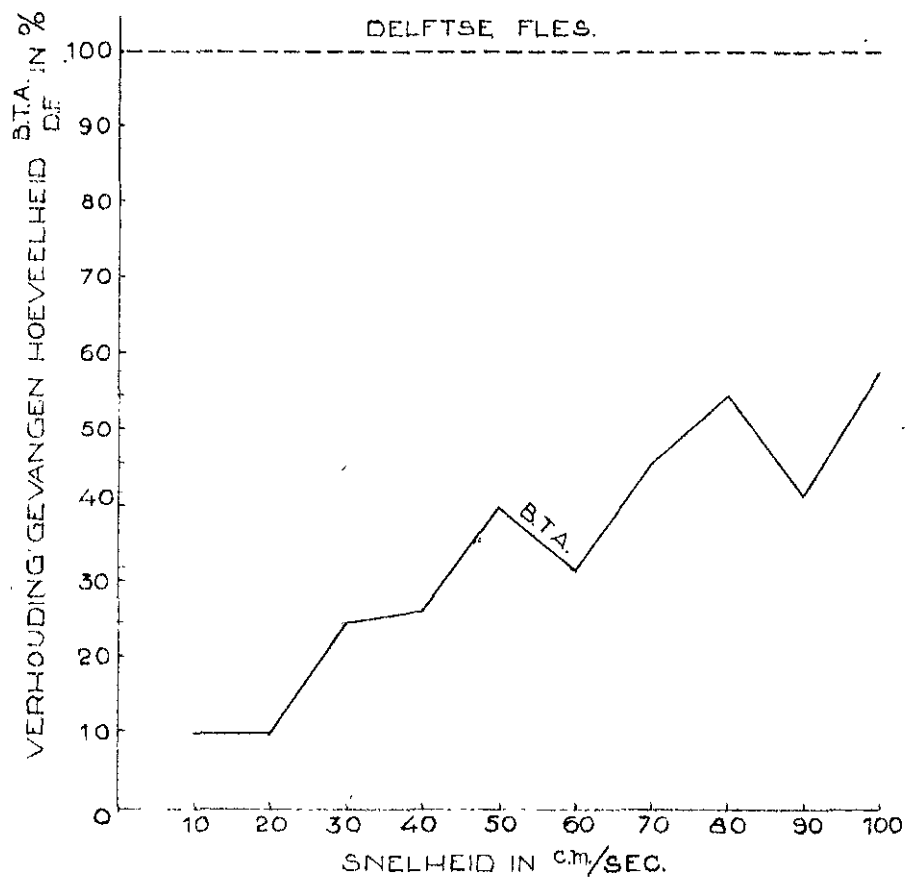
# BEPROEVING GEHALTEMETER





# VERGELIJKING DELFTSE FLES EN B.T.A.

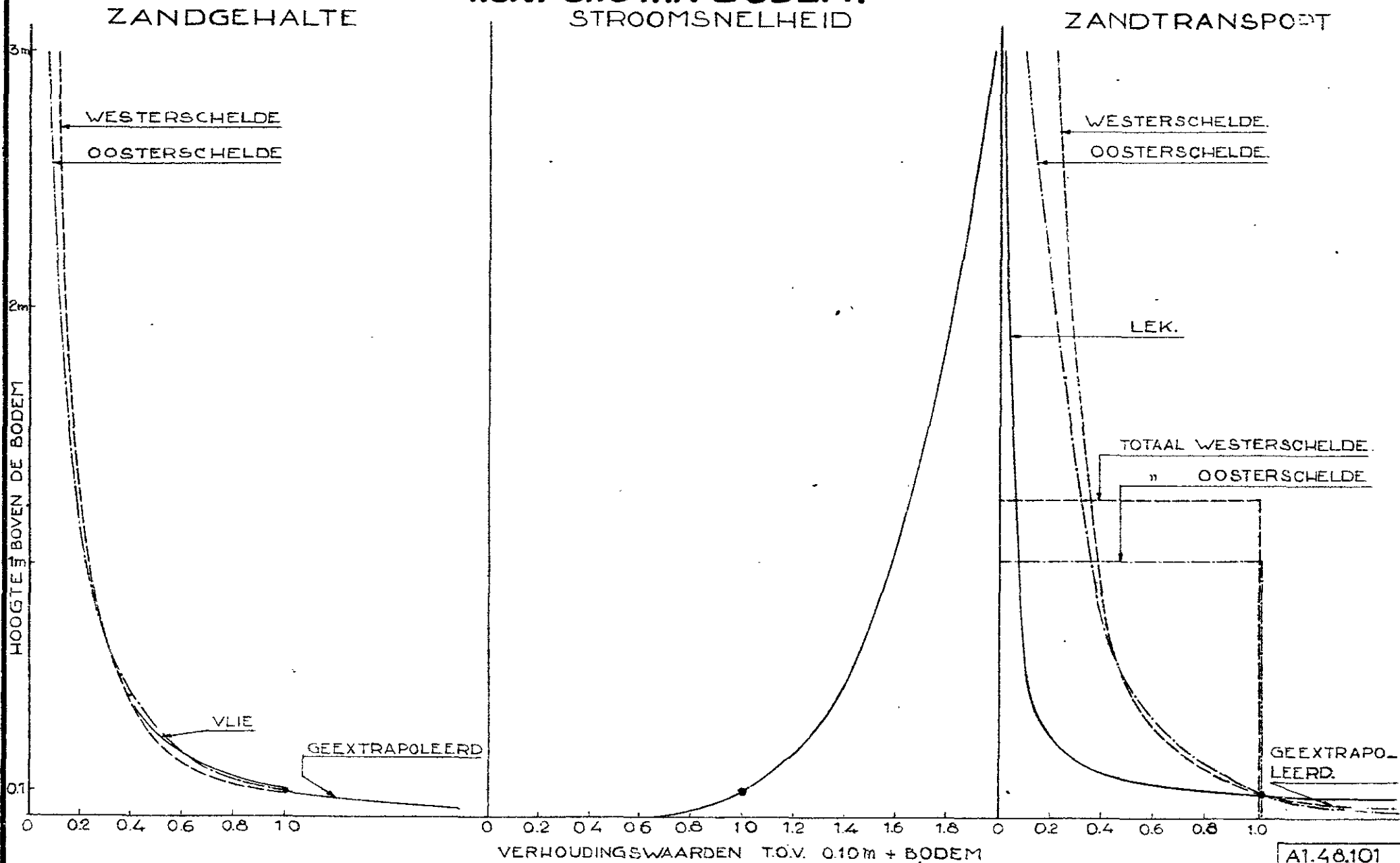
(B.T.A. = BODEMTRANSPORTMETER „ARNHEM“)

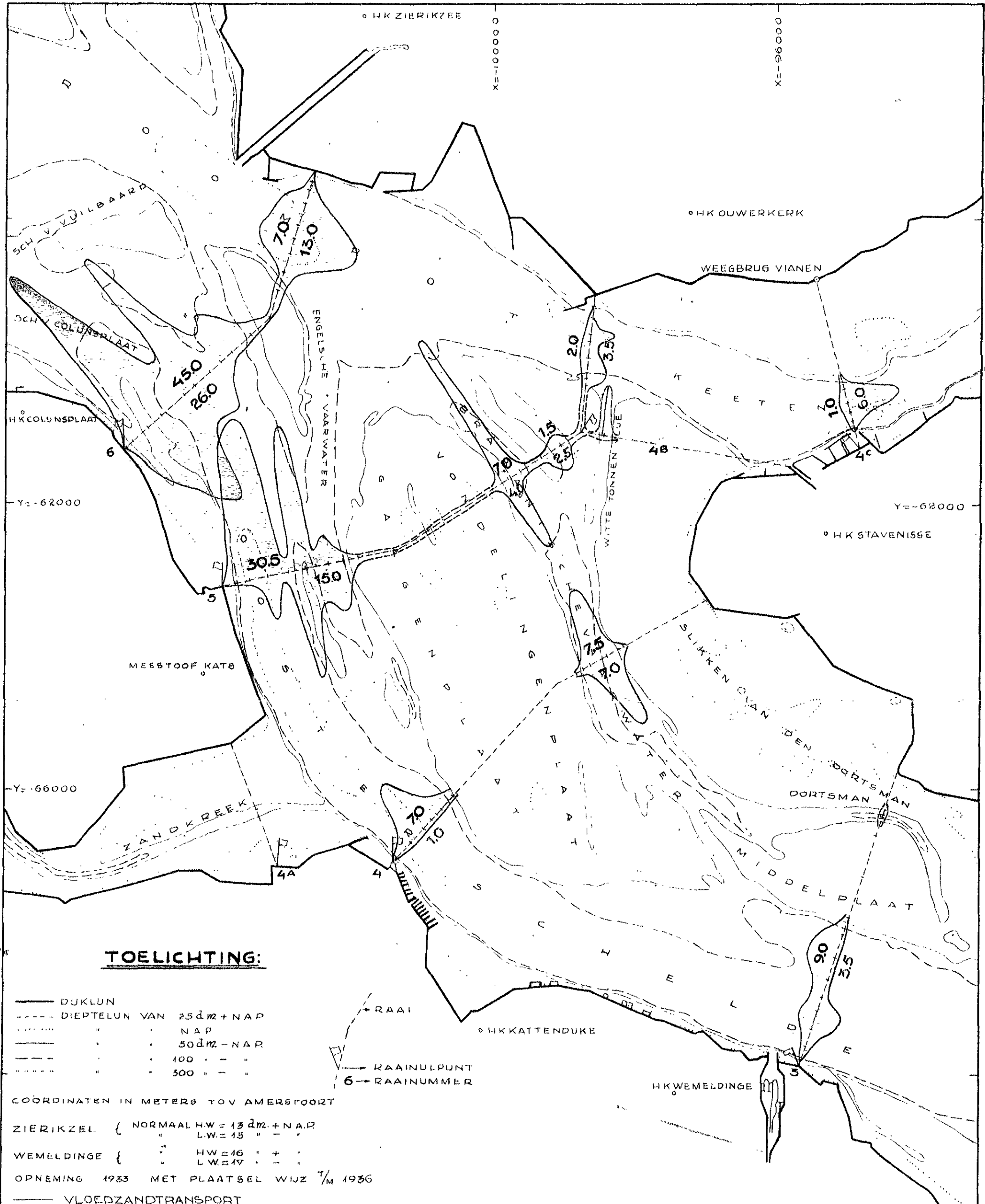


A1. 48.102

# GEMIDDELTE VERHOUDING IN DE VERTICAAL

## T.O.V. 0.10 m. + BODEM.





**TOELICHTING:**

- DIJKLUN
- DIEPTELUN VAN 25 dm + NAP
- ..... " " NAP
- " " 50 dm - NAP
- " " 100 " - "
- ..... " " 300 " - "

COORDINATEN IN METERS TOV AMERSFOORT

ZIERIKZEL { NORMAAL HW = 13 dm + NAP  
 " " L.W. = 15 " - "

WEMELDINGE { " " HW = 16 " + "  
 " " L.W. = 17 " - "

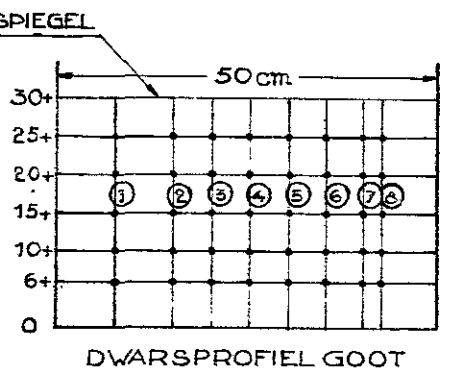
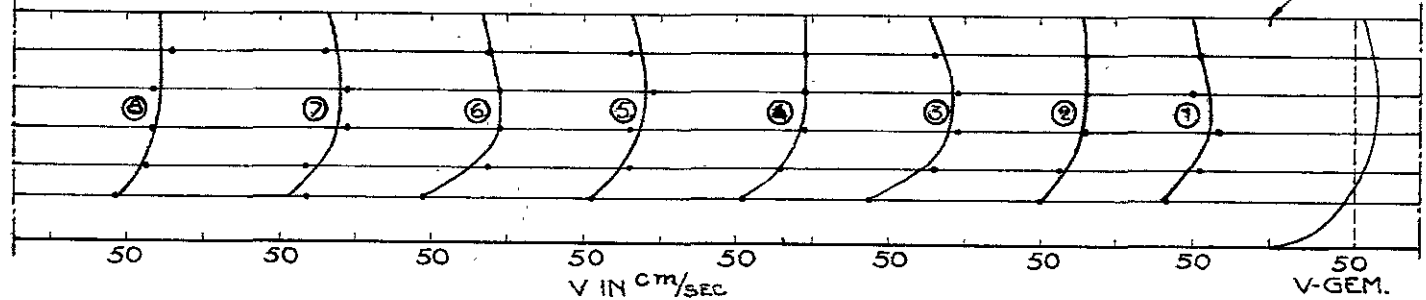
OPNEMING 1933 MET PLAATSEL WIJZ T/M 1936

- VLOEDZANDTRANSPORT
- EBZANDTRANSPORT
- TRANSPORT IN M<sup>3</sup>PER CM HOOGTE

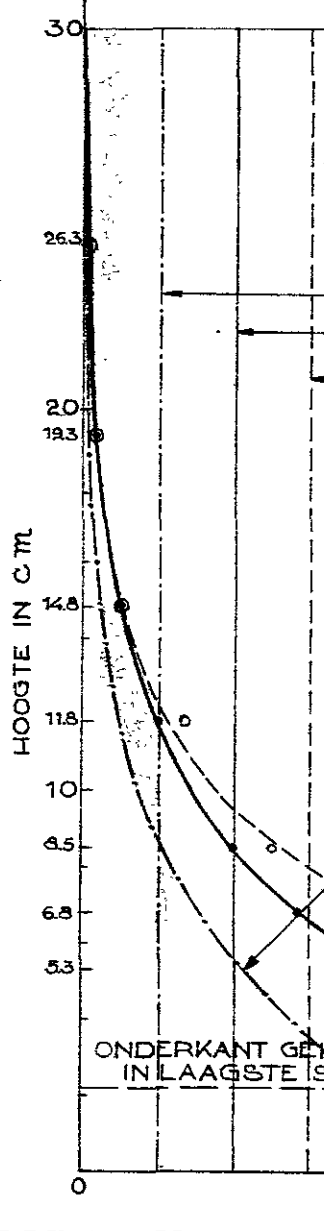
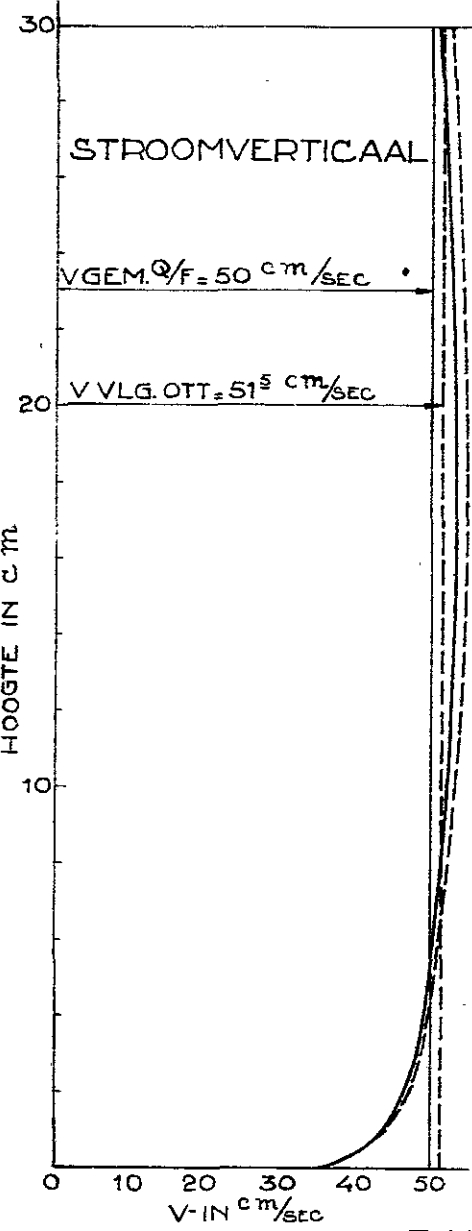
- RAAI
- RAAINULPUNT
- 6 — RAAINUMMER

RIJKSWATERSTAAT- DIRECTIE BENEDENRIVIERN	
<b>BRABANTSCH-VAARWATER</b>	
<b>ZANDTRANSPORT</b>	
OP ONGEVEER 10 cm BOVEN DEN BODEM NAAR METINGEN VAN 1936	
SITUATIE SCHAAL 1:50000	
FORM. A2	
REG. NR. 2515	

VERTICALEN



GEMIDDELDEN OVER GEHELE PROFIEL



ZANDGEHALTEVERTICAAL.

GEM. TRANSPORT = 0.2 cc/cm HOOGTE  
 GEM. Zg = 0.4 cc/5L (OVER GEHELE PROFIEL)  
 GEM. Zg = 0.6 cc/5L (IN AS) } BEREKEND UIT FORMULE.

BEREKEND TRANSPORT = GEHALTE x Q x TUD =  
 = 0.4 cc/5L x 75 L/SEC x 13 800 SEC = 82 800 C M<sup>3</sup>  
 (PROEFDUUR = 13 800 SEC)

GEMETEN TRANSPORT = 82 500 C M<sup>3</sup>

TRANSPORT VERTICAAL

$Zg = 2.7e^{-0.225h}$

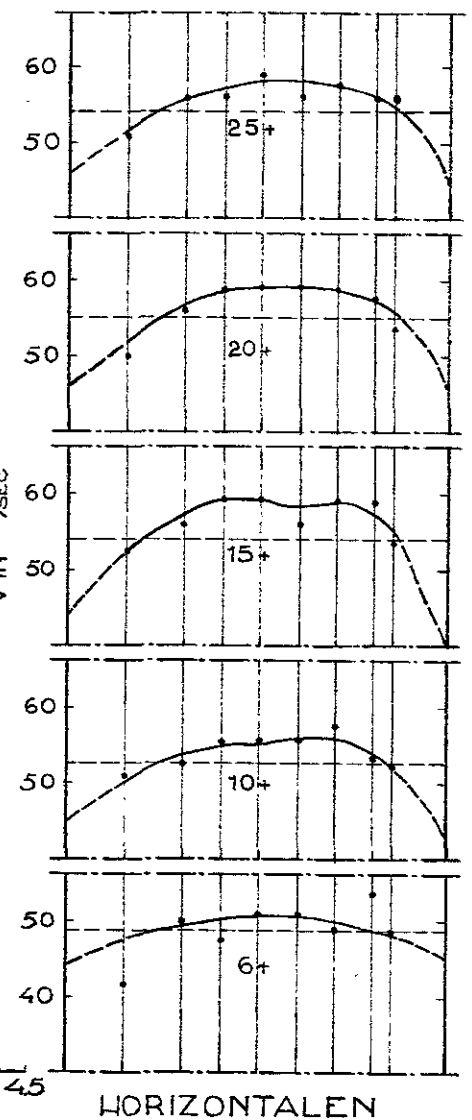
$Zg = 4.5e^{-0.252h}$

AS 1/6 GOOT

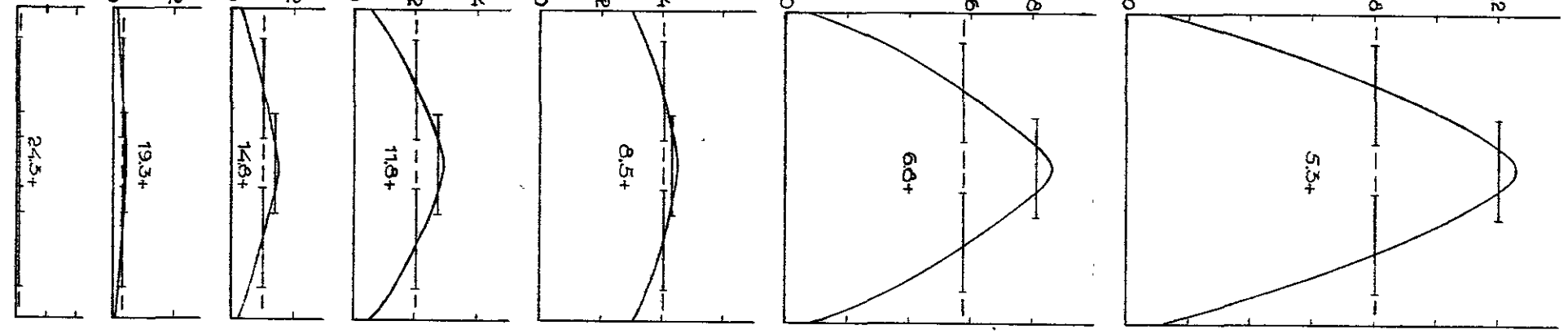
GEM. 1/6 GOOT

ONDERKANT GEHALTEMETER  
 IN LAAGSTE STAND.

STROOMVERDELING.  
 VLG OTT



ZANDGEHALTEHORIZONTALAEN

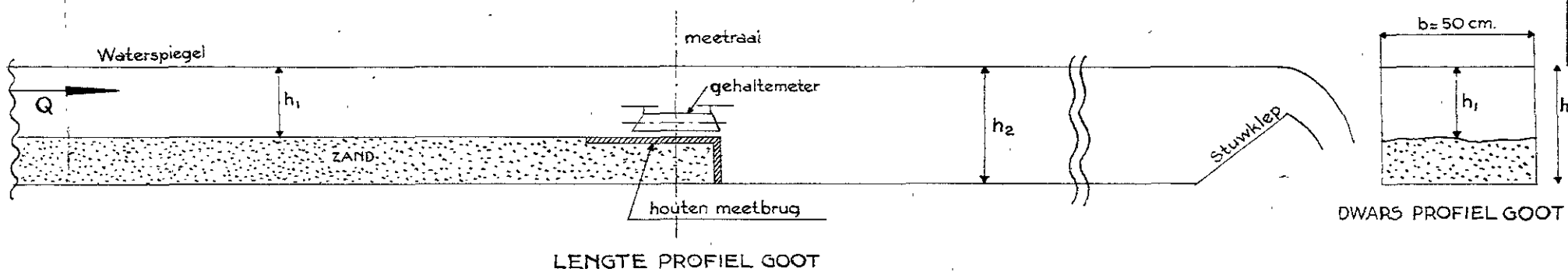


RIJKSWATERSTAAT-DIR. BEN-RIVIEREN  
**WATERWAARNEMINGEN**

BEPROEVING  
 GEHALTEMETER  
 (5LITER)

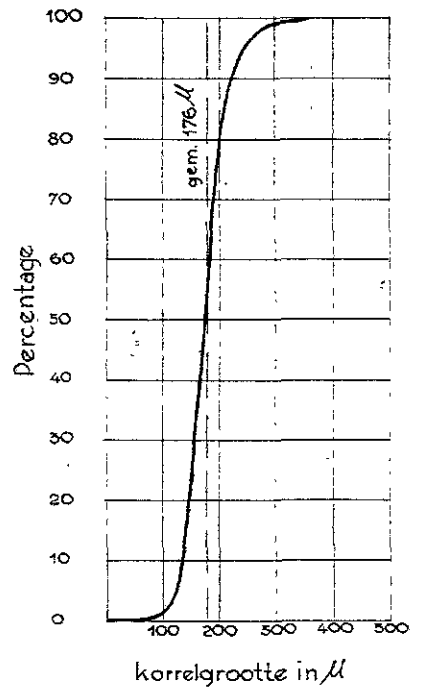
GET. AT. D.D. 26-2-48	CONTR. D.D. 2-48	BLAD N <sup>o</sup> : IN' BLADEN
GEZ. D.D. 2-48	GEW. D.D. 2-48	
ACC. D.D. 2-48	SCHAAL:	
		<b>48.136 A2</b>

# SCHEMA PROEFINRICHTING



48.206 A1

ZEEFKROMME ZAND  
bepaald door bezinkingsmethode



## WATERWAARNEMINGEN BEPROEVING GEHALTEMETER (5 L) (IJKING)