

waterloopkundig laboratorium delft hydraulics laboratory

Nota: Debietmetingen met behulp van
Rhodamine-WT in de spuriolen
van de Zeevaartsluis te Terneuzen
op 20, 21 en 22 april 1977

R 1298

april 1979

INHOUD

| | blz. |
|---|------|
| <u>1 Inleiding</u> | 1 |
| <u>2 Principe van debietmetingen met behulp van de kleurstof Rhodamine-WT</u> | 2 |
| <u>3 Meetsituatie</u> | 4 |
| <u>4 Resultaten en kanttekeningen</u> | 5 |
| <u>5 Aanbevelingen</u> | 8 |

Figuren

DEBIETMETINGEN MET BEHULP VAN RHODAMINE-WT IN DE SPUIRIOLEN VAN DE ZEEVAART-
SLUIS TE TERNEUZEN OP 20, 21 EN 22 APRIL 1977

1 Inleiding

In het kader van de zoutbestrijding van het Kanaal van Gent naar Terneuzen zijn door Rijkswaterstaat op 20, 21 en 22 april 1977 zout- en snelheidsmetingen uitgevoerd in en bij de Zeevaartsluis te Terneuzen. Een verslag van deze meetcampagne is te vinden in de Nota: "Onderzoek optimalisering zoutbestrijdingsmaatregelen Zeevaartsluis bij Terneuzen; verslag en evaluatie van de meting op 21 en 22 april 1977", notanummer 25.002.03, november 1978, Directie Waterhuishouding en Waterbeweging, Distrikt Zuid-West.

Tijdens de meting zijn door het Waterloopkundig Laboratorium debietmetingen uitgevoerd in de spuirollen van de Zeevaartsluis met behulp van de kleurstof Rhodamine-WT. Het doel was om ervaring op te doen met deze methode van debietmeten in tot dan vrij ongebruikelijke omstandigheden terwijl tevens een vergelijkingsmogelijkheid aanwezig zou zijn met de spuidebietten verkregen via De Ott-molenmetingen van RWS. Deze nota geeft na de Inleiding achtereenvolgens een beknopte beschrijving van het principe van debietmetingen met behulp van een kleurstof (hfdst. 2), in hoofdstuk 3 staat de meetsituatie beschreven, hoofdstuk 4 geeft de resultaten met waar nodig kanttekeningen terwijl tenslotte in hoofdstuk 5 aanbevelingen staan voor eventueel toekomstig onderzoek met deze meetmethode. De WL-debietmetingen zijn uitgevoerd door J.M. Polhuys en ir. A. Roelfzema; de laatste schreef ook deze nota.

2 Principe van debietmetingen met behulp van de kleurstof Rhodamine-WT

Het principe van deze manier van debieten meten berust op de injectie van een tracer in een stromend medium. Op een punt benedenstrooms waar de tracer wordt verondersteld volkomen gemengd te zijn met de omringende vloeistof, wordt de mate van verdunning van de tracer bepaald. Het debiet van het stromend medium kan bepaald worden wanneer het injectiedebiet en de verdunning van de tracer bekend zijn. Voor een principeschets, zie figuur 1a.

De voorwaarden voor toepassing van de methode zijn:

- een konstante achtergrond (Q_0 , C_0) gedurende de meetperiode,
- de lengte tussen injectiepunt en bemonsteringspunt moet zo lang zijn dat ter plaatse van het bemonsteringspunt de tracer in de gehele doorsnede homogeen verdeeld is,
- geen debietveranderingen tussen injectie- en bemonsteringspunt,
- de tracer mag gedurende de meting niet afgebroken worden (lichtinwerking, binding aan stoffen in het water); als hieraan niet kan worden voldaan moet de mate van afbraak worden vastgesteld.

Er kunnen twee injectiemethoden worden onderscheiden (zie fig. 1b):

- continue injectie; hierbij wordt een tracer, met een bekende concentratie opgelost in een vloeistof, met een bekend debiet geïnjecteerd,
- momentinjectie; hierbij wordt een nauwkeurig bekende hoeveelheid tracer in één keer in het injectiepunt ingebracht.

Voor de continue injectie geldt in het algemeen:

$$Q_0 C_0 + Q_1 C_1 = (Q_0 + Q_1) C_2$$

of, met $Q_1 \ll Q_0$

$$Q_0 = \frac{C_1}{C_2 - C_0} Q_1$$

waarin: Q_0 = debiet (te bepalen)

Q_1 = injectiedebiet (bekend)

C_0 = achtergrondconcentratie

C_1 = injectiekoncentratie

C_2 = monsterconcentratie

} bekend

Voor de momentinjectie geldt in het algemeen:

$$\int_0^T Q_0 C_0 dt + V C_1 = \int_0^T Q_0 C_2 dt + V C_2$$

of, met $C_2 \lll C_1$

$$\int_0^T Q_0 (C_2 - C_0) dt = V C_1$$

of, na integratie over de bemonsteringstijd T

$$Q_0 = \frac{V C_1}{(C_2 - C_0) T}$$

waarin: Q_0 = debiet (te bepalen)
 V = volume injectievloeistof (bekend)
 C_0 = achtergrondconcentratie
 C_1 = injectiekoncentratie
 C_2 = monsterconcentratie
 $V C_1$ = hoeveelheid Rhodamine (kg)

} (bekend)

De bemonsteringstijd T moet in ieder geval zo lang zijn dat de top van de bemonsterde concentratie (volgens fig. 1b) geregistreerd wordt. De gemiddelde C_2 -concentratie kan dan bepaald worden. Eenvoudiger is het om T zo groot te nemen dat het volledige klokvormige beeld volgens figuur 1b wordt geregistreerd; door het monster dan in een vat goed te mengen vindt men direkt de gemiddelde C_2 -concentratie.

De concentraties worden met behulp van een fluorometer bepaald. Het principe werkt als volgt. Een kwiklamp zendt licht uit dat door de Rhodamine weer wordt uitgezonden (fluorescentie). Het uitgezonden licht passeert filters die zo zijn gemaakt dat alleen die golflengte passeert die voor de meting gewenst is, namelijk de golflengte behorend bij de Rhodamine. De hoeveelheid uitgezonden licht is een maat voor de Rhodamineconcentraties en wordt gemeten door een in de fluorometer ingebouwde fotometer. De meter moet met nauwkeurig aangemaakte concentraties vóór elke meting geijkt worden.

3 Meetsituatie

Figuur 2 geeft een overzicht van de situatie waarin is gemeten. In de bedieningsgebouwen van het zuidelijk schuivencomplex werd de concentratie van de injectievloeistof geïjkt. Met behulp van een pomp + debietmeter werd de vloeistof in raai 2 geïnjecteerd.

In raai 1 werd met behulp van een pomp bemonsterd. De fluorometer waarmee de monsterconcentratie werd bepaald stond opgesteld in de bedieningsgebouwen van het noordelijk schuivencomplex. De afstand tussen de raaien 1 en 2 bedraagt ongeveer 165 m. De (vertikale) afstand tussen het maaiveld en de bodem van het spuirool is ongeveer 19,50 m. Het injectiepunt in raai 2 en het bemonsteringspunt in raai 1 waren beiden aan een metalen frame bevestigd waarop ook de RWS-zoutsensoren en Ott-molens waren bevestigd. De frames werden op en neer gehaald over de hoogte van het spuirool (5 m) om vertikalen te kunnen bepalen. Deze manier van bevestigen was noodzakelijk om te voorkomen dat bij vrijhangende injectie- en bemonsteringspunten de toe- en afvoerleidingen door de forse stroomsnelheden in het riool afgeknepen en/of beschadigd zouden worden. Bovendien speelde de ontoegankelijkheid van de raaien 1 en 2 een rol (spuirool tussen 14,50 en 19,50 m - maaiveld).

Gekozen is voor de continue injectiemethode. De argumenten hiervoor waren:

- tijdens een meting (tijdsduur 15 à 30 minuten) verloopt de buitenwaterstand (Westerschelde) en daarmee het debiet Q_0 , dat onder vrij verval door de riolen stroomt. Een continue injectie geeft een indruk van dit verloop,
- ter plaatse van de schuivencomplexen noord en zuid (raaien 1 en 2), splitst het riool zich in 2 takken (zie fig. 2). Er is steeds in één tak tegelijk gemeten. Een continue meting geeft een beter antwoord op de vraag of een tak representatief is voor het debiet door het riool dan een momentmeting.

Als kleurstof is Rhodamine-WT (Water-Tracer) gebruikt in plaats van Rhodamine-B. De eerste hecht zich veel minder aan materialen dan de tweede. De metingen werden gelijktijdig met de zout- en snelheidsmetingen van Rijkswaterstaat verricht zodat de resultaten direkt vergelijkbaar zijn.

4 Resultaten en kanttekeningen

Als voorbeeld van de concentratieregistraties is figuur 3 bijgevoegd. De fluorometeraflezing van meting 7 (registratie) staat hierbij uitgezet tegen de tijd. De achtergrondconcentratie C_0 is vastgesteld op gemiddeld 7,5%, de monsterconcentratie C_2 op 32,1%. De schaal loopt hierbij van 0 tot 100%; via de bekende ijkconcentraties worden deze percentages herleid tot concentraties in bijvoorbeeld kg/l. Vergelijking van bodem-, midden- en bovenposities laat zien dat de Rhodamine redelijk over de hoogte van het riool gemengd is. De berekende debieten staan in tabel 1 vermeld met ter vergelijking de RWS-resultaten.

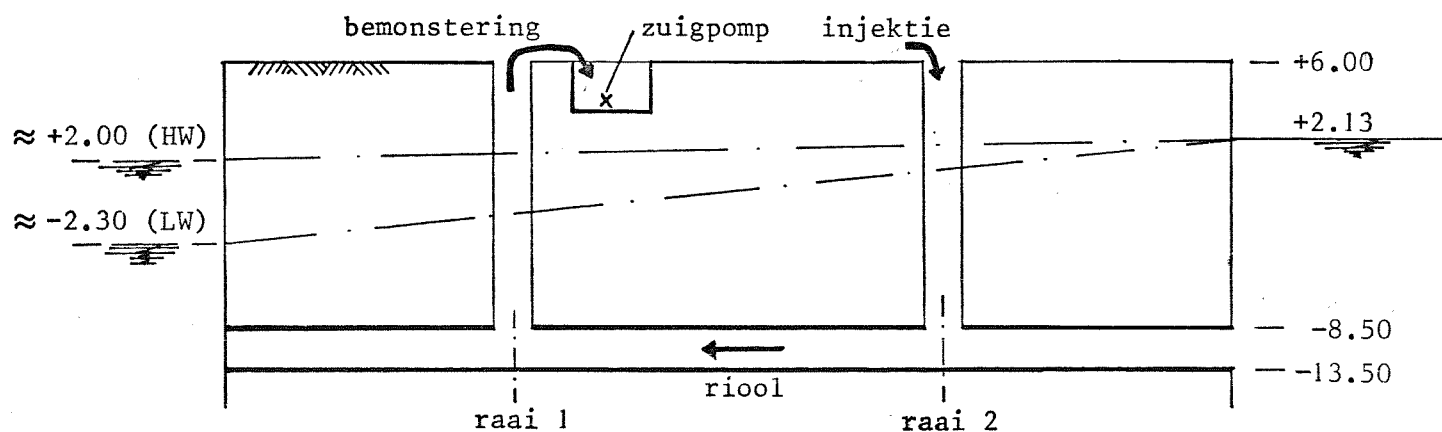
| Meting | Raai | Riool | Duur v.d. meting | Debiet WL (m ³ /s) | Debiet RWS (m ³ /s) |
|--------|------|-------|------------------|----------------------------------|-----------------------------------|
| 1 | 1 | West | 31 min. | 32,6 | 28 |
| 2 | 1 | West | 34 min. | 22,0 | 19 |
| 3 | 1 | West | 31 min. | 11,6 | 8 |
| 4 | 1 | Oost | 25 min. | 72,5 | 115 |
| 5 | 1 | Oost | 27 min. | - | 54 |
| 6 | 1 | Oost | 27 min. | 48,4 | 39 |
| 7 | 1 | Oost | 32 min. | 40,5 | 29 |
| 8 | 1 | Oost | 30 min. | - | 42 |
| 8A | 1 | West | 30 min. | 32,9 | - |

Tabel 1 Debietmetingen in de spuriolen van de Zeevaartsluis Terneuzen, 20, 21 en 22 april 1977

Bij deze resultaten moeten de volgende kanttekeningen worden gemaakt.

- De duur van de WL-Rhodaminemetingen was in de regel aanzienlijk korter dan in de tabel staat aangegeven. Op het moment dat de schuiven opengingen werd Rhodamine geïnjecteerd. De totale looptijd (van het injectievat op maaiveldniveau boven raai 2 naar raai 2, vervolgens via het spuriool van raai 2 naar raai 1 en tenslotte van raai 1 naar de bemonsteringsapparatuur in de kelder van het noordelijk bedieningsgebouw) bedroeg soms bijna 10 minuten, afhankelijk van het debiet door het riool. De WL-metingen begonnen dus in feite steeds een aantal minuten later dan de RWS-metingen. Het einde van de metingen was voor RWS en WL steeds gelijk namelijk het tijdstip waarop de schuiven werden gesloten.

- Tijdens meting 6 bleek dat bij lage buitenwaterstand op de Westerschelde de zuigpomp voor de bemonstering de grote opvoerhoogte moeilijk kon overbruggen (zie figuur). Besloten is om de pomp op te stellen in de kelder van de noordelijke bedieningsgebouwen om op die manier het hoogteverschil bij lage drukhoogte ter plaatse van raai 1 beter te kunnen overwinnen. Deze overplaatsing van de pompopstelling moest tijdens meting 5 geschieden waardoor de WL-meting 5 ontbreekt.



- Meting 8A van het WL is niet direkt vergelijkbaar met meting 8 van RWS. De WL-meting is uitgevoerd in het Westriool op woensdag 20 april terwijl de RWS-meting is uitgevoerd in het Oostriool op donderdag 21 april. De buitenwaterstand op de Westerschelde was in beide gevallen niet gelijk.
- In het algemeen moet aan de hand van tabel 1 gekonkludeerd worden dat de Rhodamineresultaten van de te vergelijken metingen systematisch aan de hoge kant zijn, behalve meting 4. Ten aanzien van meting 4 is het enerzijds mogelijk dat de injectieslang en de bemonsterings slang gedeeltelijk afgeknepen zijn door de grote snelheid in het riool waardoor de toe- en afvoer van Rhodamine mogelijk minder gelijkmatig is geweest. Anderzijds geven de RWS-meetresultaten grote verschillen te zien in de gemeten snelheden tijdens "opgaande" vertikaal en "neergaande" vertikaal, respectievelijk $Q_{\text{opgaand}} = 115 \text{ m}^3/\text{s}$ en $Q_{\text{neergaand}} = 75,9 \text{ m}^3/\text{s}$ voor meting 4. Bij deze meting 4 is door RWS de grootste waarde aangehouden, bij de overige RWS-metingen het gemiddelde tussen opgaande en neergaande meting.

Ten aanzien van de overige, systematische afwijkingen zijn in algemenere zin de volgende overwegingen mogelijk van belang.

Indien niet aan de voorwaarde van een voldoende lange mengweg L om volledige menging in de bemonsteringsdoorsnede te verkrijgen wordt voldaan, zal de kon-

centratieverdeling over de dwarsdoorsnede eruit zien als in figuur 4a is geschetst. Als het injectiepunt en het bemonsteringspunt op één niveau liggen wordt steeds de hoogste concentratie bemonsterd. Om de gemiddelde concentratie in raai 1 te krijgen moet dan een volledige vertikaal worden doorgemeten hetgeen ook gebeurd is (het bemonsteringspunt ging met het meetframe voor de Ottmolens mee op en neer).

Echter hetzelfde was het geval voor het injectiepunt in raai 2.

De beide meetframes gingen gelijktijdig (in fase) op en neer maar door de looptijd van een konzentratiedeel tussen raai 2 en 1 lag het bemonsteringspunt voor dit konzentratiedeel op een ander niveau dan het injectiepunt, zie als voorbeeld de figuren 4b en 4c.

Het resultaat is dat steeds een te kleine konzentratie C_2 wordt gemeten, waardoor het debiet volgens $Q_o = \frac{C_1}{C_2 - C_o} Q_1$ te groot wordt berekend.

Deze overwegingen zijn alleen van belang bij niet volledige menging over de dwarsdoorsnede in raai 1.

In de literatuur worden empirische formules gegeven voor de mengweglengte L . Genoemd worden hier Dumas en Taylor met respektievelijk $L \gg 75 d$ en $L = 100 d$ waarin d de leidingdiameter is. In het geval van het riool van de Zeevaartsluis zou dit enkele honderden meters zijn. Anderzijds is de doorsnede van het riool rechthoekig terwijl tevens een aantal "mengwegmechanismen" aanwezig zijn zoals de samenvoeging en splitsing van 2 riooltakken en de zijtakken naar de Zeevaartsluis (zie fig. 2).

Aan de hand van de meetregistraties moet evenwel gekonkludeerd worden dat volledige menging over de dwarsdoorsnede ter plaatse van raai 1 in het algemeen niet volledig gerealiseerd is. In dit verband is het voorbeeld van meting 7 (fig. 3) minder representatief; zie eveneens in figuur 3 het voorbeeld van meting 1.

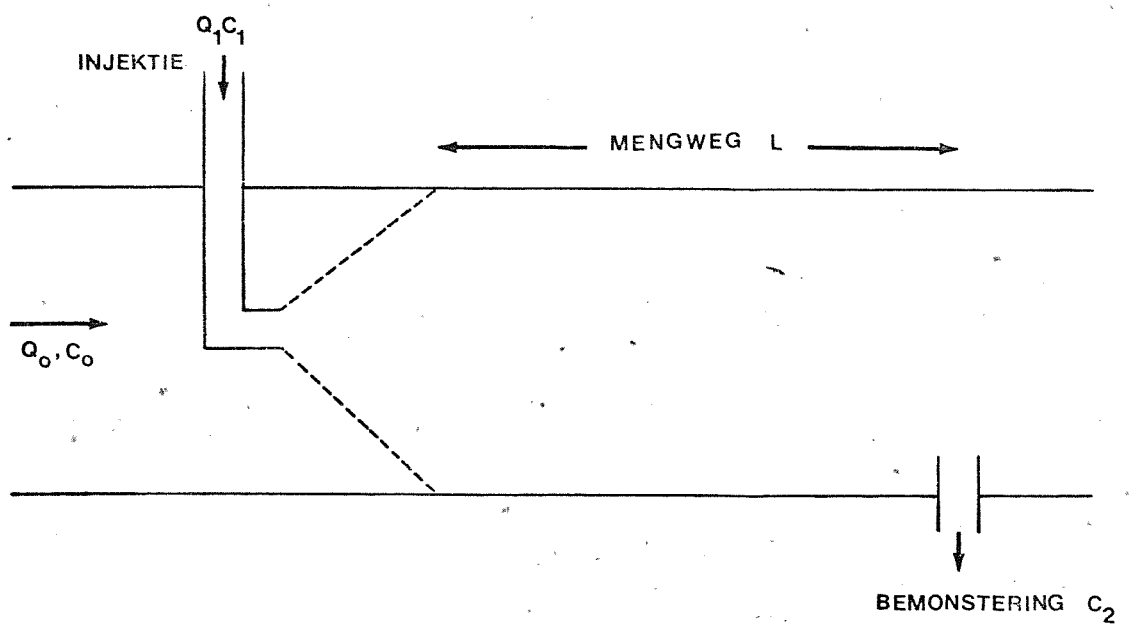
5 Aanbevelingen

De debietmetingen met behulp van Rhodamine-WT in de spuiroelen van de Zeevaartsluis te Terneuzen op 20, 21 en 22 april 1977, in eerste instantie bedoeld om ervaring op te doen in dit type omstandigheden hebben een aantal duidelijke aanbevelingen gegeven over de wijze waarop deze metingen het beste kunnen worden uitgevoerd.

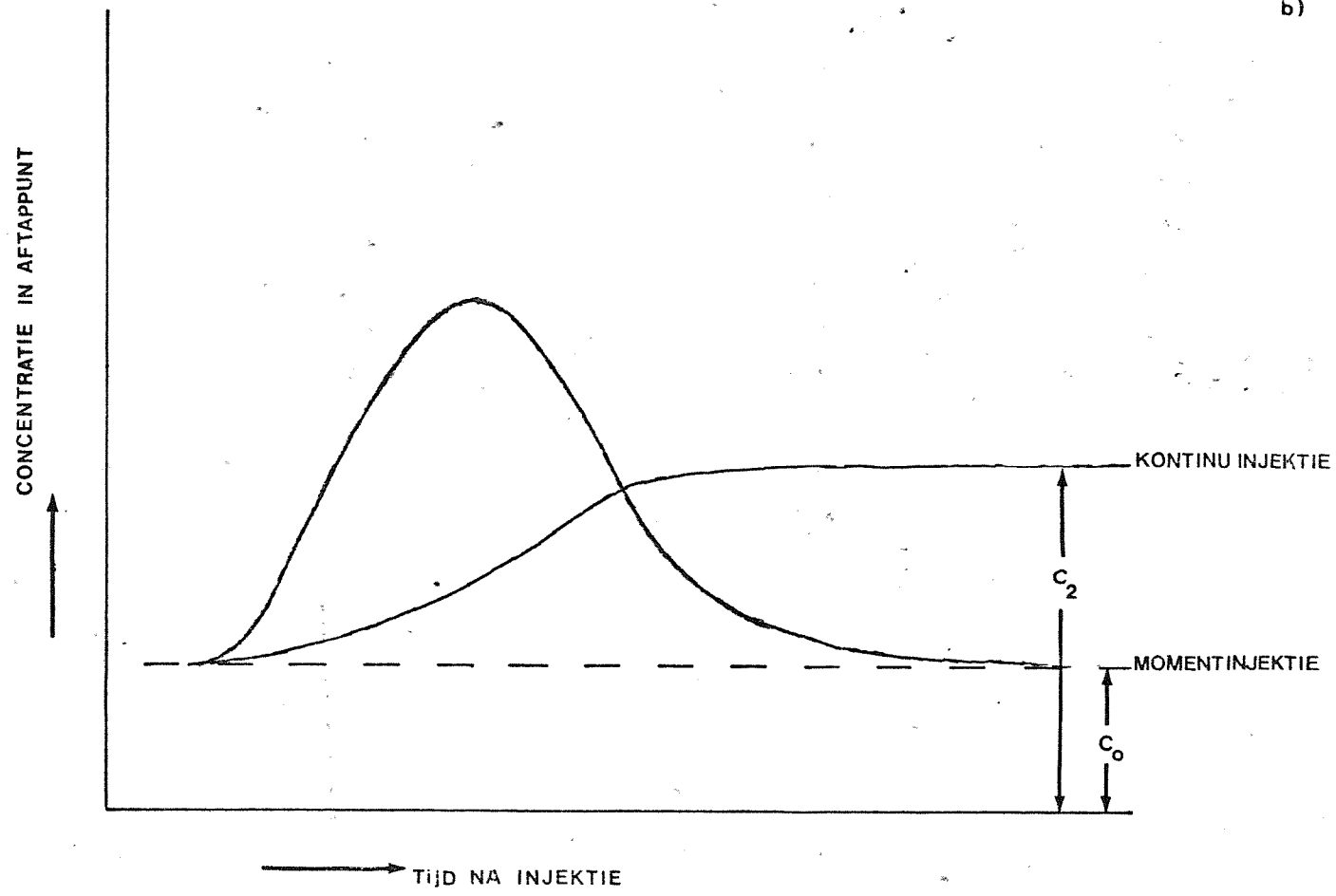
- Als niet voldaan kan worden aan volledige menging over de dwarsdoorsnede ter plaatse van het bemonsteringspunt, moet het injectiepunt op één vaste positie zitten. De gemiddelde concentratie bij de bemonsteringsraai kan dan bepaald worden uit een volledig gemeten vertikaal. Ook kan getracht worden een "menger" ter plaatse van de injectie aan te brengen (een molen of iets dergelijks).
- In plaats van een zuigpomp moet bij grote opvoerhoogtes (orde 10 m) een perspomp ter plaatse van het bemonsteringspunt worden aangebracht.
- De injectievloeistof (Q_1 met C_1) moet wat betreft het debiet nauwkeurig en gemakkelijk kunnen worden ingesteld en in de hand worden gehouden; bij het onderzoek in Terneuzen moest het debiet Q_1 aan de hand van de rotameteraflezing frekvent worden bijgesteld.
- Bij de direkt achter elkaar uitgevoerde metingen (in volgorde) 2 en 1 met een totaal tijd van ongeveer 70 minuten dreigden problemen met de capaciteit van het injectievat. Bij het uitvoeren van de debietmetingen moet er rekening mee worden gehouden dat òf deze capaciteit voldoende is, òf dat voldoende tijd beschikbaar is om nieuwe injectievloeistof aan te maken en te ijken (orde half uur).
- Bij metingen zoals in Terneuzen met forse afstanden, o.a. tussen de injectie- en bemonsteringsapparaturen zijn minstens 2 mensen nodig die vertrouwd zijn met de fluorometerinstrumentatie- en technieken.

Indien aan bovengenoemde voorwaarden wordt voldaan kunnen met behulp van Rhodamine debieten worden bepaald met een onnauwkeurigheid van slechts 1 à 1½%.

a)

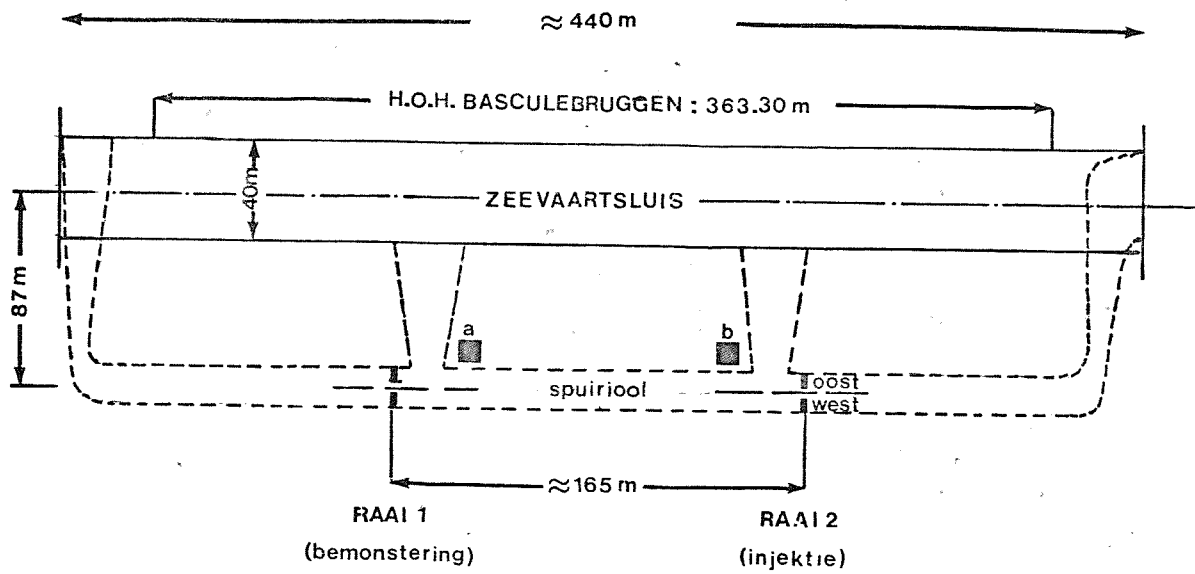


b)

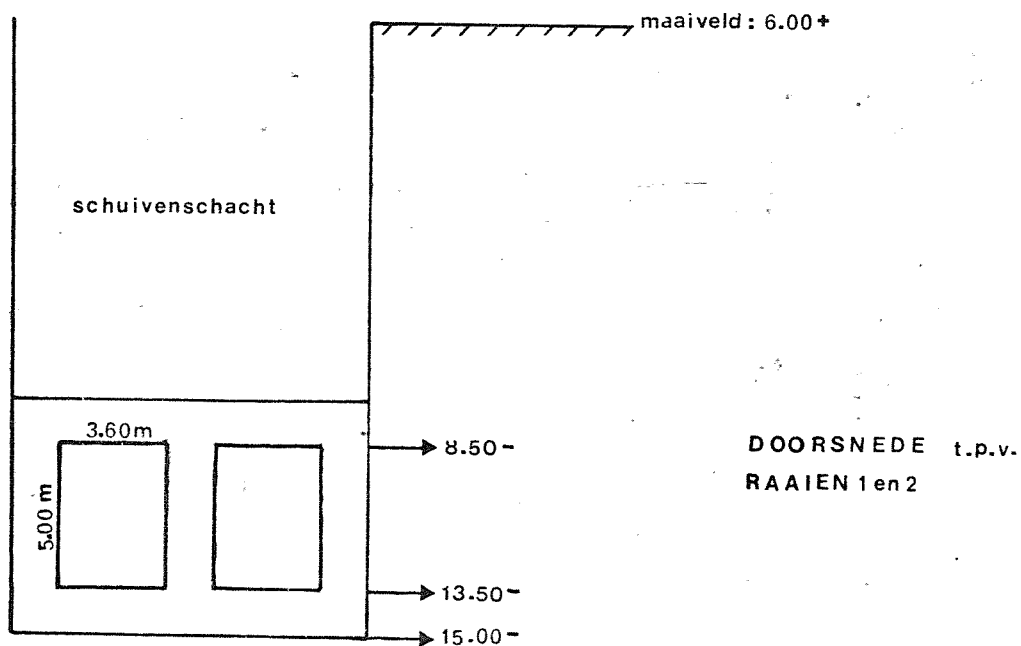


PRINCIPE DEBIETMETING

FIG. 1

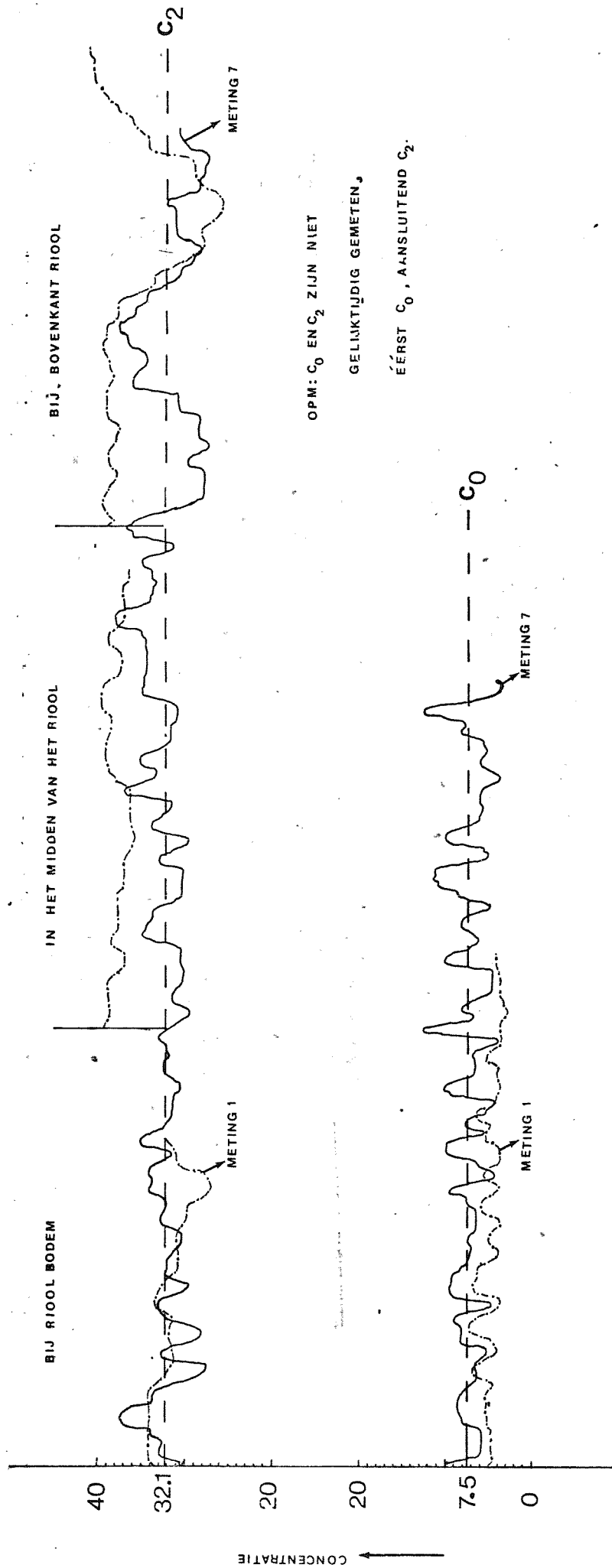


- a** = bedieningscomplex noord
- b** = bedieningscomplex zuid



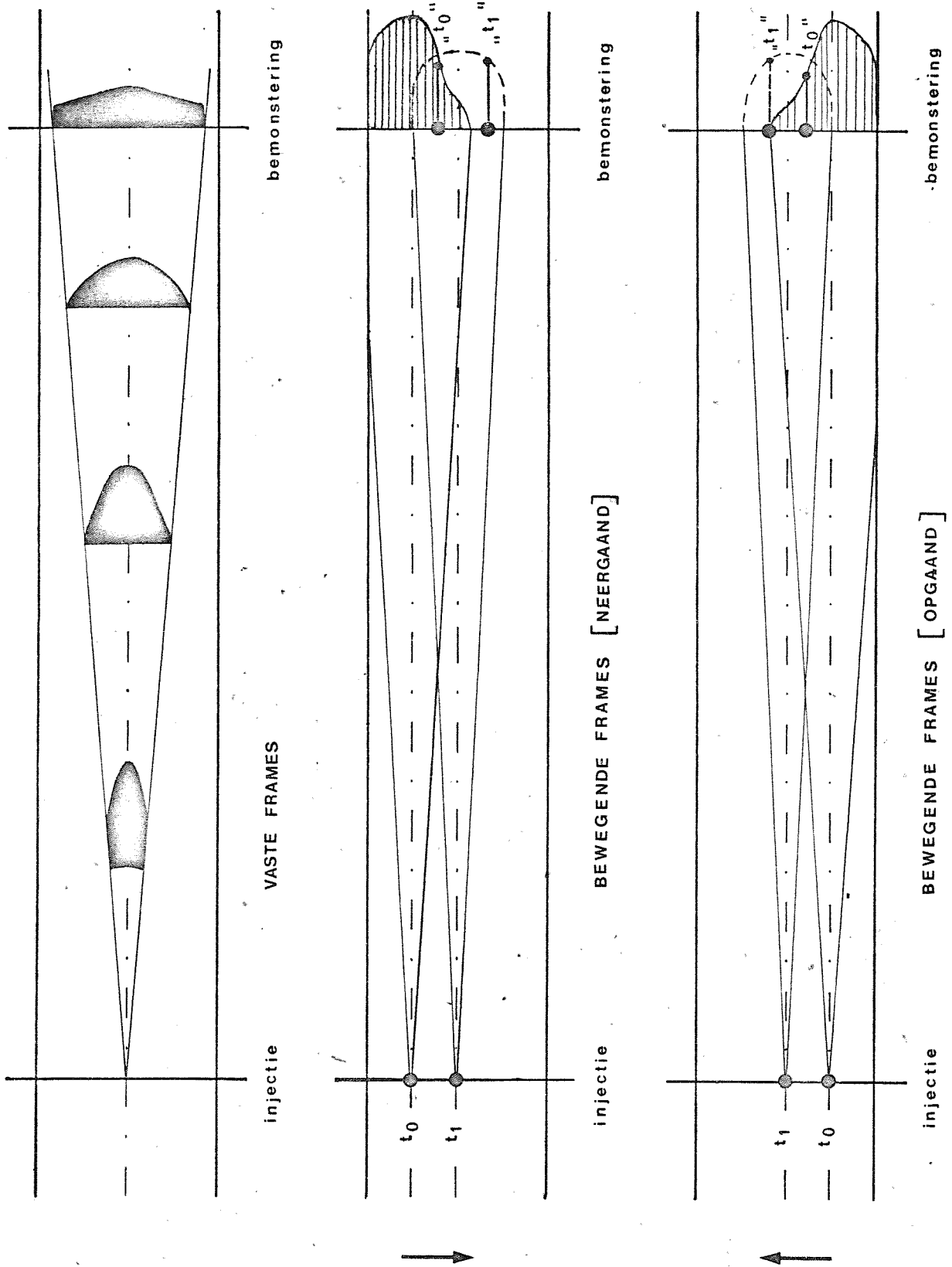
MEETSITUATIE

FIG.2



VOORBEELD RHODAMINEREGISTRATIES

FIG. 3



VERSPREIDING BIJ NOG NIET VOLLEDIGE
 MENGING MET OP- EN NEERGAANDE
 INJECTIE EN BEMONSTER PUNTEN

FIG. 4

