

BIBLIOTHEEK RIVIERKUNDE

DE 67018-1

SCHEEPVAART

73.7a

## waterloopkundig laboratorium

verbetering bevaarbaarheid  
rivierkruising te Wijk bij Duurstede

nautische aspecten

verslag modelonderzoek

M 974/975 deel I



Ministerie van Verkeer en Waterstaat  
Directoraat-Generaal Rijkswaterstaat  
Directie Oost-Nederland

Bibliotheek

Nr. ANSR-73.7/I ON

uari 1973

---

verbetering bevaarbaarheid  
rivierkruising te Wijk bij Duurstede

nautische aspecten

verslag modelonderzoek

---

M 974/975 deel I

februari 1973



# INHOUD

	<u>blz.</u>
<u>1</u> <u>Inleiding</u>	
1.1    Opdracht.....	1
1.2    Probleemstelling.....	2
1.3    Gegevens .....	2
1.4    Samenvatting van de belangrijkste conclusies.....	3
<u>2</u> <u>Omvang van het onderzoek</u> .....	3
<u>3</u> <u>Scheepvaart in de huidige situatie</u>	
3.1    Inleiding .....	4
3.2    Schadevaringen .....	6
3.3    Prototypemetingen .....	10
3.3.1  Omschrijving en uitvoering.....	10
3.3.2  Verdeling van de riviervaart over de tijd.....	11
3.3.3  Berekening van de wachttijden bij het oversteken .....	14
3.3.4  Scheepsbewegingen onder invloed van stroom.....	17
<u>4</u> <u>Model</u>	
4.1    Bouw en inrichting .....	21
4.2    Schepen.....	22
4.3    Schalen en schaalears effecten.....	23
4.3.1  Schalen .....	23
4.3.2  Schaalears effecten bij de besturing van schepen .....	23
<u>5</u> <u>Randvoorwaarden (afvoeren en waterstanden)</u> .....	25
<u>6</u> <u>Modelproeven</u>	
6.1    Overzicht .....	25
6.2    Meetmethoden .....	26
<u>7</u> <u>Resultaten van de vaarproeven in de T0-situatie</u>	
7.1    Beschrijving van de manoeuvres.....	27
7.2    Meetresultaten .....	28

## INHOUD (vervolg)

	<u>blz.</u>	
<u>8</u>	<u>Het bepalen van de benodigde breedte voor een oversteekmanoeuvre</u>	
8.1	Opzet.....	33
8.2	Vaarsnelheid.....	33
8.3	Baanbreedte.....	34
8.4	Veiligheidsmarges.....	35
8.5	Benodigde totale breedte.....	36
<u>9</u>	<u>Conclusies met betrekking tot nautische aspecten van de rivierkruising.....</u>	38
<u>10</u>	<u>Mogelijkheden tot verbetering van de kruising</u>	
10.1	Inleiding.....	41
10.2	Onderzochte toestanden.....	42
10.3	Invloed van de veranderingen op de scheepvaart.....	44

## Literatuur

## FIGUREN

- 1 Overzicht situatie
- 2 Situatie kruising
- 3 Scheepswaarnemingen stuw Amerongen (tijdsintervallen tussen de opeenvolgende passages)
- 4 Tijdsintervallen waarin de kanaalvaart al dan niet kan oversteken
- 5 Kansverdeling van de wachttijden in een denkbeeldig geval
- 6 Tijdsintervallen tussen twee opeenvolgende rivierschepen waarin de kanaalvaart niet kan oversteken
- 7 Onderverdeling van de totale breedte op de kruising
- 8...17 Oversteek van een motorschip (prototypemeting 5-1-1968)
- 18 Verkeerssituatie op de kruising (prototypemeting 5-1-1968)
- 19...22 Oversteek van een sleep (prototypemeting 5-1-1968)
- 23 Oversteek van een duwcombinatie (prototypemeting 5-1-1968)
- 24 Oversteek van een duweenheid (prototypemeting 14-4-1967)
- 25 Oversteek van een duweenheid (prototypemeting (9-5-1967)
- 26,27 Afslaande vaart (prototype 5-1-1968)
- 28 Overzicht model
- 29 Modelschepen
- 30 Verband tussen afvoer Lek en gemiddelde waterstand in kmr. 928.875
- 31  $T_0$ , stroomsnelheden bij ongestuwde rivier
- 32 Driftbreedte van het motorschip ( $Q_{Lek} = 325 \text{ m}^3/\text{s}$ )
- 33 Driftbreedte van het motorschip ( $Q_{Lek} = 468 \text{ m}^3/\text{s}$ )
- 34 Driftbreedte van het motorschip ( $Q_{Lek} = 825 \text{ m}^3/\text{s}$ )
- 35 Driftbreedte van het motorschip ( $Q_{Lek} = 1360 \text{ m}^3/\text{s}$ )
- 36 Driftbreedte van de duweenheid ( $Q_{Lek} = 468 \text{ m}^3/\text{s}$ )
- 37 Driftbreedte van de duweenheid ( $Q_{Lek} = 825 \text{ m}^3/\text{s}$ )
- 38 Driftbreedte van de duweenheid ( $Q_{Lek} = 1360 \text{ m}^3/\text{s}$ )
- 39 Oversteek met verschillende opstuurhoeken
- 40 Verband tussen de driftbreedte en de vaar- en stroomsnelheid ( $Q_{Lek} \leq 825 \text{ m}^3/\text{s}$ )
- 41 Slingering van de stroomrichting (gemiddelde van de verticaal)
- 42 Verband tussen de driftbreedte en de vaar- en stroomsnelheid ( $Q_{Lek} = 1360 \text{ m}^3/\text{s}$ )
- 43 Verband tussen de driftbreedte en de vaar- en stroomsnelheid (minder goede manoeuvres)
- 44 Verband tussen de driftbreedte en de vaar- en stroomsnelheid ( $Q_{Lek} \leq 825 \text{ m}^3/\text{s}$ ; prototype waarnemingen)

## FIGUREN (vervolg)

- 45 Acceleratievermogen modelschepen (tijd t.o.v. afgelegde weg)
- 46 Acceleratievermogen modelschepen (vaarsnelheid t.o.v. afgelegde weg)
- 47 Vaarbanen van een afslaand motorschip ( $Q_{Lek} = 825 \text{ m}^3/\text{s}$ )
- 48 Overzicht onderzochte situaties

## FOTO'S

- 1 Oversteek duweenheid in de as (W-R);  $Q = 825 \text{ m}^3/\text{s}$ ;  $v_s = 2,2 \text{ m/s}$
- 2 Oversteek duweenheid in de as (R-W);  $Q = 825 \text{ m}^3/\text{s}$ ;  $v_s = 2,3 \text{ m/s}$
- 3 Doorzwaaien duweenheid (te laat tegenroer gegeven) bij oversteek R-W;  
 $Q = 825 \text{ m}^3/\text{s}$ ;  $v_s = 2,25 \text{ m/s}$
- 4 Oversteek motorschip onder evenwichtshoek (W-R);  $Q = 825 \text{ m}^3/\text{s}$ ;  
 $v_s = 2,7 \text{ m/s}$
- 5 Oversteek motorschip met grote opstuurhoek (W-R);  $Q = 825 \text{ m}^3/\text{s}$ ;  
 $v_s = 3,0 \text{ m/s}$
- 6 Oversteek motorschip met kleine opstuurhoek (W-R);  $Q = 825 \text{ m}^3/\text{s}$ ;  
 $v_s = 2,5 \text{ m/s}$
- 7 Oversteek duweenheid op kleine afstand van de pylonen (W-R);  
 $Q = 825 \text{ m}^3/\text{s}$ ,  $v_s = 2,6 \text{ m/s}$



## TABELLEN

- 1 Overzicht schadevaringen
- 2 Hagestein,  $\Delta t = 10$  min
- 3 Hagestein,  $\Delta t = 5$  min
- 4 Amerongen,  $\Delta t = 10$  min
- 5 Amerongen,  $\Delta t = 5$  min
- 6 Amerongen,  $\Delta t = 3$  min
- 7 Kans op wachten op voorrangsschepen
- 8 Resultaten prototypemetingen (overstekende scheepvaart)
- 9A Schepen die tussen 8.30 uur en 14.30 uur de stuw bij Amerongen gepasseerd zijn op 5 jan. 1968
- 9B Schepen die tussen 8.30 uur en 14.30 uur de stuw bij Hagestein gepasseerd zijn op 5 jan. 1968
- 10 Gegevens schepen
- 11 Afvoeren en waterstanden
- 12 Driftbreedte van het motorschip
- 13 Toe te passen vaarsnelheden
- 14 Minimale waarden voor  $A_p$
- 15 Waarden van  $B_d$  en  $B_t$  voor duweenheid
- 16 Waarden van  $B_d$  en  $B_t$  voor motorschip
- 17 Overzicht onderzochte toestanden
- 18 Invloed stroomsnelheid op  $B_d$  en  $B_t$
- 19 Invloed stroomsnelheid op  $B_d$  en  $B_t$  voor motorschip
- 20 Invloed verruiming kruising op resterende breedte
- 21 Door motorschip in beslag genomen ruimte

# Verbetering bevaarbaarheid rivierkruising te Wijk bij Duurstede

## Nautische aspecten

### 1. Inleiding

#### 1.1. Opdracht

De Arrondissementsingenieurs van de Rijkswaterstaat in de Arrondissementen Utrecht II en Rijn en IJssel hebben in hun gezamenlijke brieven no. 4280/3936 d.d. 28 september en 4 oktober 1967 aan het Waterloopkundig Laboratorium opdracht verleend tot het verrichten van een modelonderzoek ter verbetering van de bevaarbaarheid van de kruising van het Amsterdam-Rijnkanaal met de Lek te Wijk bij Duurstede (voor overzicht van de situatie zie figuren 1 en 2). Het onderzoek omvatte ondermeer proeven in een nautisch model (M 974) met vaste bodem. Hierin dienden de eventuele situatiewijzigingen onderzocht te worden ter verbetering van de bevaarbaarheid van de kruising ten behoeve van de in de toekomst overstekende duwvaart en de op de rivier gerichte vaart van kleinere binnenschepen. Tevens moest de aanslibbing in de cirkulatiekommen en de voorhavens worden onderzocht. In nauw samenspel hiermee dienden in een morfologisch model (M 975) proeven te worden verricht naar de invloed van op nautische gronden wenselijk geachte situatiewijzigingen op de bodemligging op de kruising en in de toegangen tot de kommen. Ook de invloed van de Rijnkanalisatie op de bodemligging moest worden nagegaan. Het onderzoek vond plaats in het Laboratorium De Voorst van juli 1968 tot juli 1971. Het onderzoek werd achtereenvolgens verricht door ir. P.A. Zijderveld, ir. Z. Thomas, de heer H. de Jager en ir. N. Struiksma.

Het onderhavige verslag, waarin uitsluitend de nautische aspecten worden behandeld, is door beide laatstgenoemden samengesteld. Voor het onderzoek naar de morfologische aspecten wordt verwezen naar deel II van dit verslag M 974/975.

## 1.2. Probleemstelling

Nabij Wijk bij Duurstede kruist het Amsterdam-Rijnkanaal de rivier de Lek, waarbij op de kruising voor de scheepvaart hinderlijke stromingen optreden als gevolg van de afvoer van de Lek. In de huidige situatie is er door deze stromingen, en mede door het kruisende verkeer, niet altijd sprake van een ongestoorde verkeersafwikkeling, wat blijkt uit het grote aantal schadevaringen in de laatste jaren.

Om duwvaart in de toekomst op het Amsterdam-Rijnkanaal mogelijk te maken wordt het kanaal verbreed en worden nieuwe sluizen gebouwd bij Wijk bij Duurstede en Tiel, terwijl de sluis bij Ravenswaay wordt opgeruimd. De deelname van deze duweenheden aan het verkeer op de kruising kan, gezien de huidige situatie, die bepaald niet veilig te noemen is, moeilijkheden opleveren. Naar aanleiding hiervan is besloten om een onderzoek in te stellen naar het gedrag van de scheepvaart op de kruising.

## 1.3. Gegevens

- De Afdeling Studiedienst in de Directie Bovenrivieren van de Rijkswaterstaat verstrekke de nodige peilkaarten en andere gegevens en verrichtte metingen met betrekking tot stroomsnelheden, slingeren en verhangen.
- Voor de bouw van het model werden gegevens gebruikt, die werden verstrekt door de Afdeling Studiedienst, het Arrondissement Rijn en IJssel en het Arrondissement Utrecht II van de Rijkswaterstaat.
- Gegevens betreffende de scheepvaart werden verstrekt door het Arrondissement Rijn en IJssel en het Arrondissement Utrecht II.
- Tijdens het onderzoek vond, door regelmatig mondeling en schriftelijk contact met de opdrachtgevers en hun vertegenwoordigers en adviseurs, een uitwisseling van ideeën en inzichten plaats.

#### 1.4. Samenvatting van de belangrijkste conclusies

De belangrijkste conclusies kunnen als volgt worden samengevat:

1. De huidige situatie is, gezien de toekomstige ontwikkeling van het scheepvaartverkeer op de kruising, onveilig te noemen.
2. Voor een veilige afwikkeling van dit scheepvaartverkeer verdient het aanbeveling om de dwarssnelheden te reduceren en meer ruimte te scheppen op de kruising en in de voorhaven.
3. Indien de onder 2 bedoelde verbeteringen, gezien de morfologische gevolgen, niet volledig kunnen worden uitgevoerd, kan nog worden overwogen een verkeersregeling toe te passen.

*Conclusie die je  
aan te nemen, zwaaien  
model, al had  
kannu hebben*

(N.B. De uitvoerbaarheid van maatregelen die kunnen leiden tot reductie van stroomsnelheden op de kruising en tot verruiming daarvan werd onderzocht in het morfologische model dat wordt behandeld in Deel II: Morfologische aspecten. Met betrekking tot aanbevelingen inzake wijzigingen van de kruising wordt verwezen naar par. 1.4. en hoofdstuk 5 van Deel II).

#### 2. Omvang van het onderzoek

Het onderzoek kan in de volgende delen worden onderscheiden:

- a. Een analyse van het gedrag van de scheepvaart op de kruising in de huidige situatie aan de hand van gegevens uit het prototype.
- b. Proeven in een scheepvaartmodel, teneinde na te gaan hoeveel ruimte van de kruising respectievelijk door een overstekende duweenhed en een motorschip in beslag wordt genomen en om vast te stellen in hoeverre door wijzigingen in de vorm van de kruising, kommen en voorhavens de situatie te verbeteren is.
- c. Proeven in een morfologisch model om de onder b bedoelde wijzigingen op hun morfologische consequenties te beoordelen. Tevens werd de invloed van de Rijnkanalisatie onderzocht.
- d. Proeven in de onder b en c genoemde modellen, bestaande uit de bepaling van de wateruitwisseling tussen rivier en kommen en metingen aan slingeringen en neersnelheden.

De resultaten van de onder a en b vermelde onderzoeken worden in het onderhavige verslag, deel I, vermeld, terwijl de resultaten van de proeven onder c en d worden gerapporteerd in het verslag M 974/975, Deel II: Morfologische aspecten.

### 3. Scheepvaart in de huidige situatie

#### 3.1. Inleiding

In figuur 2 wordt een overzicht gegeven van de huidige situatie van de kruising. Deze vorm van de kruising is na uitgebreid onderzoek gekozen, omdat deze het beste voldeed aan de toentertijd gestelde eisen [1, 2]. De voornaamste eis werd als volgt gesteld: "Bij de aanleg van de voorhavens moet het mogelijk zijn, zonder overmatig baggerwerk, voldoende diepte op de kruising en in de voorhavens te onderhouden". Daarnaast werd het van belang geacht, dat de op de kruising en in de kommen en voorhavens optredende stromingen niet hinderlijk voor de scheepvaart zouden zijn. Hoewel de kruising aan de voornaamste eis voldoet, is gebleken, dat de huidige scheepvaart hinder ondervindt van de stromingen.

Het scheepvaartverkeer op de kruising is onder te verdelen in de volgende verkeersrichtingen (zie figuur 2):

- Kanaalvaart. Deze wordt verder aangeduid met W-R en R-W voor respectievelijk verkeer van de sluis te Wijk bij Duurstede richting Ravenswaay en omgekeerd.
- Riviervaart. Verder aangeduid met H-A en A-H. voor verkeer van Hagestein naar Amerongen en omgekeerd.
- Afslaan vaart. Alleen de vaart van Amerongen naar de sluis te Wijk bij Duurstede, A-W, en omgekeerd W-A, is van betekenis. De drie andere mogelijkheden van afslaan worden slechts weinig gebruikt.

In 1968 omvatte de kanaalvaart ca. 40.000 schepen. Het afslaan verkeer W-A en A-W betreft naar schatting ongeveer 10.000 schepen. Volgens opgave van de Rijkswaterstaat omvat de riviervaart ongeveer evenveel schepen als de kanaalvaart. Het gemiddeld laadvermogen van de schepen betrokken bij de

*is dat met  
slechts 20?  
(zal wel!).*

*het nu*

Step above mit natj. lopen  $x \leq 200m$

Bijv. veld A. B. geband.

laatstgenoemde vaart is echter veel groter dan bij de riviervaart.

De vaart W-R en W-A wordt gedoseerd door de sluis te Wijk bij Duurstede. In drukke perioden passeren, na een schutting in zuidelijke richting, 10 à 15 schepen de kruising. Het interval van deze schuttingen varieert nogal, maar bedraagt bij druk verkeer  $1\frac{1}{2}$  à  $1\frac{3}{4}$  uur. Gedurende een relatief klein deel van dit interval wordt de kruising in de richtingen W-R en W-A door een betrekkelijk groot aantal schepen bevaan.

De sluis bij Tiel werkt eveneens doserend, maar door de vrij grote afstand tot de kruising en het verschil in vaarsnelheid van de betrokken schepen, treedt een zekere mate van spreiding op. In veel gevallen naderen de schepen de kruising in groepjes van twee of drie.

Bij gestuwde rivier geeft de scheepvaart uit de sluis bij Amerongen, met als hoofdrichtingen A-W en A-H, eenzelfde beeld te zien als de sluis te Wijk bij Duurstede. Overeenkomst (spreiding van het verkeer ten gevolge van de grote afstand tot de sluis) bestaat eveneens voor de sluizen bij Hagestein en Tiel.

Bij ongestuwde rivier is de riviervaart veel gelijkmatiger over de tijd verdeeld dan bij gestuwde rivier.

Voor het scheepvaartverkeer bij de kruising gelden de volgende voorschriften:

- de riviervaart heeft voorrang op de kanaalvaart; oploopverbod
- er geldt een oploopverbod voor de riviervaart (voor de kanaalvaart geldt geen oploopverbod).

is dat mag zo?

Doordat de riviervaart voorrang heeft op de kanaalvaart en door de doserende werking van de sluizen te Tiel en Wijk bij Duurstede kan het vaak voorkomen dat er veel schepen in de cirkulatiekommen liggen te wachten.

De kanaalvaart wordt door middel van waarschuwborden geattendeerd op de grootte van de stroomsnelheid op de kruising. Daarnaast wordt de kanaalvaart aan de hand van informatieve verkeerslichten, die bediend worden vanuit een radarpost bij de kruising, ingelicht over de riviervaart.

Om een indruk te krijgen van het gedrag van de schepen op de kruising zijn gegevens betreffende een groot aantal schadevaringen bestudeerd en prototypemetingen verricht.

### 3.2. Schadevaringen

Om een indruk te krijgen van het gedrag van de schepen op de kruising, zijn de gegevens bestudeerd van 76 ongevallen die in de periode van 1952 tot en met het 1<sup>e</sup> kwartaal van 1968 hebben plaatsgevonden. Voor 38 gevallen is een situatieschets en een min of meer uitgebreide beschrijving beschikbaar. In de resterende gevallen zijn de gegevens summier. Het is niet helemaal zeker of het aantal van 76 overeenstemt met het totaal aantal opgetreden ongevallen in de genoemde periode.

*narrow escape?*

De ongevallen kunnen worden onderverdeeld naar drie hoofdoorzaken:

1. Invloed van de stroomsnelheid op de rivier (40 gevallen).
2. Verkeersfouten zoals het niet verlenen van voorrang (25 gevallen).
3. Toevallige oorzaken zoals mist, optredende defecten, misverstanden en twee gevallen waarin de oorzaak niet duidelijk uit de gegevens bleek (11 gevallen).

*kan ook een veilige landing zijn in de stroom -  
buitelid. Zeker dat je  
nog omhoog kan!*

Ook bij de onder 2 en 3 genoemde oorzaken speelt de stroomsnelheid soms een belangrijke rol, zowel bij de oorzaak als bij de gevolgen van de aanvaring.

#### ad 1. Aanvaringen onder invloed van de stroomsnelheid op de rivier

Het aantal aanvaringen bedraagt 40. In 28 gevallen waren hierbij sleepschepen betrokken. In het navolgende wordt een onderverdeling gemaakt naar sleepschip en motorschip.

*— komen deze nog  
veel voor?  
hoe in de toekomst  
te verminderen?*

##### a. Sleepschip tegen de oever (sl.s.-oever).

Er vonden 17 aanvaringen plaats met de oever zonder dat de sleepschepen eerst in aanvaring geweest waren met andere vaartuigen. In twee gevallen werd het sleepschip tijdens de oversteek, door het verlagen van een tegenligger, gedwongen van koers te veranderen om, door met de stroom mee te sturen, het ontmoetende schip te ontwijken. Bij hoge stroomsnelheden is dit voor de meeste schepen (en zeker voor sleepschepen) fataal, omdat na dat wegsturen, de juiste



positie ten opzichte van de stroom niet tijdig meer hersteld kan worden. In één geval werd de aanvaring mede veroorzaakt door een motorschip dat tijdens de oversteek van de sleep (W-R) ging oplopen en zelf verlagerde met hetzelfde gevolg als bij de hiervoor beschreven ontmoetingen. In twee gevallen was een onjuiste behandeling van de sleeptros mede oorzaak van het ongeval. In de twaalf overige gevallen moet de oorzaak worden gezocht in een te lage vaarsnelheid of een onjuiste positie ten opzichte van de stroomrichting. Opmerkelijk is nog dat van deze twaalf gevallen in tien gevallen de sleepschepen de vaarrichting R-W hadden en slechts in twee gevallen de richting W-R. Bij de 17 ongevallen werden de noordwestelijke en de zuidwestelijke pyloon respectievelijk 10 en 6 maal aangevaren.

b. Motorschip tegen de oever (m.s.-oever).

Er vonden 2 aanvaringen plaats met de oever zonder dat eerst een ander vaartuig aangevaren werd. In één geval was een verlagerende tegenligger mede oorzaak. Tweemaal werd een wrak van een midden op de kruising gezonken schip aangevaren, nadat de betrokken schepen verlagerd waren door de stroom.

c. Sleepschip tegen sleepschip (sl.s-sl.s).

Er zijn 5 aanvaringen geregistreerd waarvan er 4 plaatsvonden tussen elkaar op de kruising ontmoetende schepen en 1 aanvaring als gevolg van een oploopmanoeuvre.

d. Motorschip tegen sleepschip (m.s-sl.s).

Er zijn 6 aanvaringen geteld, waarvan 5 tussen elkaar ontmoetende schepen, terwijl in één geval een van de rivier afkomende sleep (A-W) tijdens het afslaan sterk doorzwaaide en in aanvaring kwam met een motorschip dat ongeveer in het midden van de kruising voer (richting W-R).

e. Motorschip tegen motorschip (m.s-m.s).

Er vonden 8 aanvaringen plaats, 5 tussen elkaar ontmoetende schepen, 1 aanvaring tijdens een oploopmanoeuvre en 1 aanvaring als gevolg van doorzwaaien tijdens het afslaan bij het bevaren van de route A-W. In 1 geval zijn de nevenomstandigheden niet duidelijk.

Bij de onder c, d en e genoemde soorten ongevallen vond het grootste deel van de aanvaringen plaats op de benedenstroomse helft van de kruising en wel op de rivier en in de "Wijkse" cirkulatiekom. De schepen die de aanvaringen veroorzaakten voeren, op enkele uitzonderingen na, allen in de richting R-W.

#### ad 2. Aanvaringen als gevolg van verkeersfouten

Het aantal aanvaringen is 25. In 17 gevallen vond de aanvaring plaats tussen riviervaart en kanaalvaart. In 8 gevallen betreft het aanvaringen tussen kanaalvaart en afslaande vaart.

##### a. Rechtdoorgaande vaart.

In 17 gevallen werd door de kanaalvaart geen voorrang verleend aan de riviervaart; 6 maal werd een afvarend en 11 maal een opvarend schip aangevaren.

Een onderverdeling naar scheepstype levert de volgende aantallen:

m.s.-m.s. : 13 aanvaringen  
sl.s.-m.s. : 3 aanvaringen (in alle gevallen had m.s. voorrang)  
sl.s.-sl.s. : 1 aanvaring.

##### b. Afslaande vaart.

In 8 gevallen vond een aanvaring plaats tussen een schip varende in de richting R-W en een afslaand schip. De afslaande schepen voeren in 5 gevallen in de richting W-A en in 3 gevallen in de richting A-W.

Een onderverdeling naar scheepstype levert de volgende aantallen:

m.s.-m.s. : 4 aanvaringen  
m.s.-sl.s. : 2 aanvaringen  
sl.s.-sl.s. : 2 aanvaringen.

#### ad 3. Overige aanvaringen

Het aantal aanvaringen is 11. In 5 gevallen blijkt de oorzaak niet duidelijk uit de gegevens. In twee gevallen is een onklaar geraakte stuurinstallatie de oorzaak, in één geval mist en in 3 gevallen is er sprake van een misverstand. Bij 6 ongevallen waren sleepschepen betrokken.

Overziet men het totaal aantal aanvaringen dan valt het grote aantal sleepschepen op, dat hierbij betrokken is. Dit geldt in zeer sterke mate voor de aanvaringen waarvan de hoofdoorzaak de stroomsnelheid op de rivier is. Een overzicht wordt gegeven in tabel 1.

Periode	aantal schadevaringen								
	totaal			oorzaak stroom			oorzaak voorrang		
	aan- tal	waarbij sleep- schip		aan- tal	waarbij sleep- schip		aan- tal	waarbij sleep- schip	
		aantal	%		aantal	%		aantal	%
1952-1968	76	42	55	40	28	70	25	8	32
1952-1959	33	21	64	14	12	85	12	5	42
1960-1968	43	21	47	26	16	61	13	3	23

Tabel 1. Overzicht schadevaringen

Het percentage sleepschepen van de totale vaart ter plaatse bedroeg in het beschouwde tijdvak gemiddeld 15 % (20 % voor 1952-1959, 10 % voor 1960-1968).

Het grote aandeel van de sleepschepen aan de schadevaringen is voor een groot deel te wijten aan de slechte manoeuvreereigenschappen van het sleepschip en aan het, in het algemeen, geringe motorvermogen van de toegepaste sleepboten. Bij veel aanvaringen was de verhouding tussen het motorvermogen van de sleepboot, uitgedrukt in PK, en het laadvermogen van het sleepschip, in tonnen, kleiner dan 1 : 10. Bij een groot motorschip is deze verhouding 1 : 1,5 à 2,5.

*leegte sleep schip  
ook een rol bij  
berisping van over-  
steden!*

Opmerkelijk zijn voorts de aanvaringen waarbij afslaande schepen betrokken zijn. In totaal zijn dit 13 gevallen. In slechts 5 gevallen betreft het schepen die van de rivier afkomen in de richting A-W. Hiervan werden twee aanvaringen veroorzaakt door de stroom (doorzwaaien) en bij drie aanvaringen werd geen voorrang verleend door schepen varende in de richting R-W. Het geringe aantal

aanvaringen dat in dit verband veroorzaakt wordt door de stroom, zou erop kunnen wijzen dat de afslaande vaart in de richting A-W, in het algemeen, weinig gevaar oplevert voor de schepen die in de "Wijkse" kom liggen te wachten tot de rivier vrij is. Een eventueel gebrek aan uitzicht vanaf de rivier op de cirkulatiekommen, zou dus minder problemen opleveren dan in eerste instantie verondersteld werd. In de drie gevallen waarin geen voorrang is verleend, is onvoldoende aandacht geschonken aan de waarschuwingslichten.

Van de overige 8 aanvaringen vonden er 7 plaats tussen schepen in de richting W-A en de rechtdoorgaande kanaalvaart. In deze gevallen konden de schippers elkaar goed waarnemen. In één geval tenslotte voer een sleepschip (W-A) tegen de zuidwestelijke pyloon als gevolg van een minder goede manoeuvre.

### 3.3. Prototypemetingen

#### 3.3.1. Omschrijving en uitvoering

Om een indruk te krijgen van de afwikkeling van het scheepvaartverkeer op de kruising is op 5 januari 1968 een prototypemeting uitgevoerd door de Rijkswaterstaat en het Waterloopkundig Laboratorium (zie tabel 8, blz. 18). Hierbij zijn bij de sluizen te Wijk bij Duurstede en Tiel en bij de getrokken stuwen te Amerongen en Hagestein de schepen geregistreerd, die gedurende de meting passeerden. Van de schepen zijn de namen, de hoofdafmetingen en het tijdstip van passeren genoteerd. Bij de sluizen is als tijdstip van passeren, het sluiten van de deuren na het binnenvaren van het laatste schip aangenomen. Bij Amerongen zijn de tijdstippen van passeren afgerond op hele minuten, bij Hagestein op perioden van 5 minuten.

Op de kruising zijn de scheepsbewegingen geregistreerd met behulp van fotografische opnamen van het radarscherm in de radartoren. Het interval tussen de opeenvolgende opnamen bedroeg 10 seconden. Om naderhand deze foto's te kunnen identificeren en analyseren zijn tevens situatieschetsen van de passerende schepen gemaakt. Deze werden verzorgd door waarnemers, die vanaf een bovenstroomse en een benedenstroomse pyloon de namen en het tijdstip van passeren van de schepen noteerden.

*wanneer zij deze verricht, heb met  
tijdens de opname foto's  
dan afgeleide hiervan  
vermoeden*

Tevens zijn enige metingen verricht om de stroomsnelheid op de kruising te bepalen. De gemiddelde snelheid over het traject tussen de boven- en benedenstroomse pylonen is bepaald met behulp van een stokdrijver (lengte 1,5 m).

Met een overstekende duweenheid zijn twee prototypemetingen verricht. Het betreft twee proefvaarten met een duwkonvooi "De Otter" die uitgevoerd zijn op 14 april 1967 en 9 mei 1967. Van deze proefvaarten zijn de opvolgende posities van de duweenheid vastgelegd met behulp van fotografische opnamen van het radarscherm in de radartoren. De duweenheid bestond uit 2 bakken met daarachter een duwboot "De Otter" (afmetingen van de duwboot: lang 26,58 m, breed 8,18 m, diepgang 1,80 m; motorvermogen 920 PK). De totale lengte van het konvooi was ongeveer 170 m, de breedte 9,50 m en de maximale diepgang 2,90 m. Tijdens de oversteek op 14 april 1967 was de waterstand van de peilschaal bij Wijk bij Duurstede (kml. 928.875) N.A.P. + 3,55 m en op 9 mei 1967 N.A.P. + 2,99 m. De stroomsnelheden op de rivier waren respectievelijk 1,15 m/s en 1,05 m/s.

*gym*

### 3.3.2. Verdeling van de riviervaart over de tijd

De verdeling van de riviervaart over de tijd kan worden bestudeerd aan de hand van de waarnemingen op 5 januari 1968 bij Amerongen en Hagestein. Naar analogie met het wegverkeer bestaat de mogelijkheid dat deze verdeling een Poissonverdeling is. Met behulp van de Poissonverdeling kan bijvoorbeeld worden berekend hoe groot de kans is, dat een schip op het kanaal moet wachten om voorrang te verlenen aan de riviervaart, of hoe groot de kans is dat er riviervaart is in de periode, waarin de schepen, die door de sluis te Wijk bij Duurstede zijn geschut in zuidelijke richting, de rivier willen oversteken. In het volgende zal worden getracht deze hypothese met behulp van de beschikbare waarnemingen te toetsen. Een waarnemingsperiode van 6 uur is beschouwd van 8.30 uur tot 14.30 uur. Alleen de schepen, die op de kruising voorrang hebben (voorrangsschepen) zijn in aanmerking genomen. Dit betekent, dat voor het waarnemingspunt Amerongen de schepen met vaarrichtingen W-A en R-A en voor Hagestein de schepen met vaarrichtingen W-H en R-H

buiten beschouwing zijn gelaten. De tijdstippen, waarop de voorrangsschepen de stuwen bij Amerongen en Hagestein passeerden zijn weergegeven in tabel 9 (zie blz. 19 en 20). De totale waarnemingstijd T (hier 6 uur) kan worden verdeeld in een groot aantal intervallen (N) alle met een lengte  $\Delta t = T/N$ . Per tijdsinterval bestaat er een zekere kans dat nul, één of meer voorrangsschepen het waarnemingspunt passeren. Het aantal passages per interval is dus een stochastische variable  $X$ . De kans dat  $X$  de waarde K (aantal gebeurtenissen) aanneemt in het interval  $\Delta t$ , is volgens de Poissonverdeling:

$$P(X = K) = \frac{e^{-m} \cdot m^K}{K!}$$

waarin m het gemiddelde aantal passages per interval is.

Indien  $n_K$  het aantal intervallen met K passages is, volgen uit de waarnemingen waarden voor  $P_K = n_K/N$ . Indien de Poissonverdeling van toepassing is moet  $P_K$  tevens voldoen aan:

$$P_K = \frac{e^{-m} \cdot m^K}{K!} \quad \left( \sum_{K=0}^{\infty} P_K = 1 \right)$$

Voor de waarnemingspunten Hagestein en Amerongen zal dit voor verschillende intervallen worden nagegaan. Het verschil tussen opvaart en afvaart is hierbij buiten beschouwing gelaten.

Hagestein: T = 360 min. Aantal passages: 71 (= m.N).

Voor  $\Delta t = 10$  min is N = 36 en m = 1,97.

Voor  $\Delta t = 5$  min is N = 72 en m = 0,986.

Amerongen: T = 360 min. Aantal passages: 74 (= m.N).

Voor  $\Delta t = 10$  min is N = 36 en m = 2,056.

Voor  $\Delta t = 5$  min is N = 72 en m = 1,028.

Voor  $\Delta t = 3$  min is N = 120 en m = 0,616.

Een vergelijking tussen de berekende en de waargenomen waarden wordt gegeven in de tabellen 2 tot en met 6. De berekende waarden van  $n_K$  zijn afgerond op gehele getallen.

	Aantal passages per interval (K)						
	0	1	2	3	4	5	6
$P_K$ berekend	0,139	0,274	0,270	0,177	0,087	0,034	0,011
$n_K = 36 P_K$	5	10	10	7	3	1	0
$n_K$ waargenomen	5	11	7	7	5	1	0

Tabel 2. Hagestein,  $\Delta t = 10$  min.

	Aantal passages per interval (K)					
	0	1	2	3	4	5
$P_K$ berekend	0,373	0,367	0,181	0,060	0,015	0,03
$n_K = 72 P_K$	27	27	13	4	1	
$n_K$ waargenomen	28	25	13	4	2	

Tabel 3. Hagestein,  $\Delta t = 5$  min.

	Aantal passages per interval (K)						
	0	1	2	3	4	5	6
$P_K$ berekend	0,128	0,263	0,270	0,185	0,095	0,039	0,013
$n_K = 36 P_K$	5	10	10	7	3	1	0
$n_K$ waargenomen	4	10	8	9	4	1	0

Tabel 4. Amerongen,  $\Delta t = 10$  min.

	Aantal passages per interval (K)					
	1	2	3	4	5	
$P_K$ berekend	0,357	0,367	0,189	0,065	0,017	0,003
$n_K = 72 P_K$	26	26	14	5	1	0
$n_K$ waargenomen	28	25	13	4	2	0

Tabel 5. Amerongen,  $\Delta t = 5$  min.

	Aantal passages per interval (K)				
	1	2	3	4	5
$P_K$ berekend	0,540	0,334	0,103	0,021	0,003
$n_K = 120 P_K$	65	40	12	3	0
$n_K$ waargenomen	60	48	10	2	0

Tabel 6. Amerongen,  $\Delta t = 3$  min.

De hypothese dat op de verdeling van de scheepvaart over de tijd de Poissonverdeling van toepassing is kan worden getoetst met behulp van de  $\chi^2$ -toets. Hieruit blijkt dat bij tijdsintervallen van  $\Delta t = 10$  min de hypothese met een betrouwbaarheid van ca. 70 % kan worden geaccepteerd. Bij tijdsintervallen  $\Delta t = 5$  min is de overeenstemming met de Poissonverdeling nog beter. De kans dat de hypothese juist is, bedraagt dan ca. 95 %. Voor beide telpunten is de overeenstemming vrijwel even goed. Bij tijdsintervallen  $\Delta t = 3$  min is de betrouwbaarheid van de hypothese aanzienlijk minder (ca. 25 %). In het navolgende worden enkele rekenvoorbeelden gegeven van de kans dat de kanaalvaart voor het oversteken van de kruising moet wachten en van de duur van de wachttijd.

### 3.3.3. Berekening van de wachttijden bij het oversteken

Bij de berekeningen wordt aangenomen dat de verdeling van de riviervaart over de tijd voldoet aan de Poissonverdeling. Voorts wordt de tijd die een rivierschip nodig heeft om de kruising te passeren verwaarloosd.

- a. Hoe groot is de kans dat een schip met een oversteektijd van  $t_0$  min moet wachten om aan de riviervaart voorrang te verlenen?

Stel: De verkeersintensiteit ( $i$ ) is respectievelijk 0,20, 0,25 en 0,33 rivierschepen per minuut. De intensiteit  $i = 0,20$  stemt ongeveer overeen met de verkeersintensiteit op 5 januari 1968).

Voor de Poissonverdeling worden tijdsintervallen aangehouden van  $\Delta t = t_0$ . De kans dat gedurende  $t_0$  geen schip passeert,  $P_0 = \exp(-it_0)$ , waarin



$m = i \Delta t$  en  $K = 0$ . De kans dat wel een schip passeert en dus moet worden gewacht, is  $[1 - \exp(-it_0)]$ . De resultaten van de berekening, waarbij de kans op wachten is uitgedrukt in %, worden gegeven in tabel 7.

$t_0$ (min)	Kans op wachten in % bij verschillende verkeersintensiteiten		
	$i = 0,20$	$i = 0,25$	$i = 0,33$
3	46	53	63
4	56	63	74
5	63	72	81

Tabel 7. Kans op wachten op voorrangsschepen

- b. Bij druk verkeer worden te Wijk bij Duurstede 12 à 15 schepen in één keer geschut. In geval van een schutting in zuidelijke richting kan het 15 à 20 minuten duren voordat dit aantal schepen de kruising gepasseerd is. Hoe groot is de kans dat in deze periode voorrang verleend moet worden aan een of meer schepen op de rivier?

*↓  
Zoude voorrang  
geven?*

Stel: De intensiteit  $i = 0,20$  rivierschepen per minuut en de oversteektijd  $t_0 = 20$  min.

Verder is  $\Delta t = t_0 = 20$  min en  $m = i \Delta t = 4$ .

Uit  $P_K = \frac{e^{-m} \cdot m^K}{K!}$  volgt:

$P_0 = 0,018$  (1,8 %);  $P_1 = 0,073$ ;  $P_2 = 0,146$ ;  $P_3 = 0,195$ .

De kans dat aan één of meer rivierschepen voorrang moet worden gegeven is  $(1 - P_0) \approx 98$  %. De kans dat er drie of meer voorrangsschepen passeren ( $K \geq 3$ ) is  $(1 - P_0 - P_1 - P_2) = ca. 75$  %. Er is dus een zeer grote kans dat de geschutte schepen zich ophopen in de "Wijkse" kom.

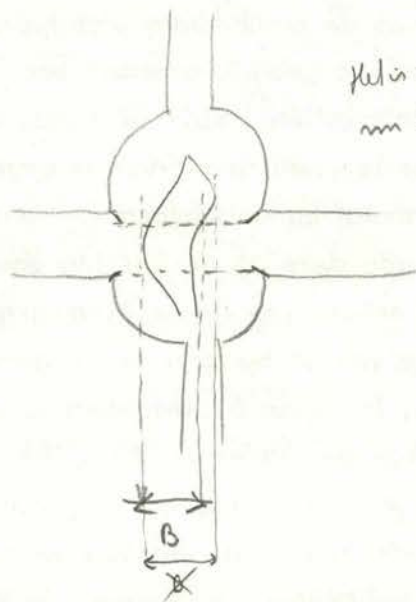
- c. Met behulp van de Poissonverdeling kan voorts worden berekend hoe groot de tijdsintervallen ( $t_i$ ) zijn tussen twee opeenvolgende passages van rivierschepen.

Stel: De verkeersintensiteit ( $i$ ) bedraagt 0,20 schepen per minuut.  
Analoog aan A is de kans op  $t_i$  gegeven door  $P_0 = \exp(-it_i)$ .  
In figuur 3 is dit verband uitgezet tesamen met de waargenomen tijdsintervallen tussen de opeenvolgende passages. De matige overeenstemming met de waarnemingen is het gevolg van de afwijkingen tussen de aangenomen Poissonverdeling met de waargenomen verdeling. Uit de figuur kan worden afgelezen hoe groot de kans is dat een kanaalschip moet wachten bij een gegeven oversteektijd.

?  
Lijkt op de  
mit w...  
dat moet aflezen

- d. De Poissonverdeling kan eveneens een indruk geven van de lengte van de wachttijden van de kanaalschepen die voorrang moeten geven aan de rivierschepen. De in [4] behandelde afleiding van de wachttijd gaat ervan uit dat het aantal kruisende kanaalschepen (analogie overstekende voetgangers) in twee niet overlappende tijdsintervallen stochastisch onafhankelijk is en dat in het tijdsinterval tussen twee opvolgende rivierschepen dat groter is of gelijk aan de oversteektijd alle wachtende kanaalschepen zullen oversteken. Rekening houdend met een verkeersintensiteit van  $i = 0,20$  rivierschepen per minuut en een oversteektijd  $t_0 = 5$  min voor de kanaalschepen, kan de wiskundige verwachting van de kansverdeling van de wachttijd worden berekend (zie figuur 5). Daar er in het prototype op 5 januari 1968 geen wachttijden zijn gemeten, is aan de hand van de beschikbare prototypegegevens een waarneming geconstrueerd. Hierbij is gebruik gemaakt van in de figuur 4 aangegeven verdeling van tijdsintervallen waarin de kanaalvaart al dan niet kan oversteken. De frekwentieverdeling hiervan is gegeven in figuur 6. Voor een willekeurig gekozen aantal kanaalschepen (te weten 100 stuks) is aselekt het tijdstip bepaald waarop deze op de kruising aankomen. De eventuele wachttijden zijn met behulp van figuur 4, oversteektijd 5 min, bepaald. De frekwentieverdeling van de op deze wijze geconstrueerde wachttijden is eveneens uitgezet in figuur 5. Uiteraard is deze verdeling afwijkend van de in figuur 6 gegeven verdeling. Er blijkt echter voldoende overeenstemming te zijn tussen de verwachting en de geconstrueerde waarneming om te kunnen veronderstellen dat via berekening een indruk kan worden verkregen van de wachttijden van schepen op kruispunten.

Boanbreedte  $B$  met gemeten rinden in het  
2e mei gedeelte:



Klein ronden nog in met de B geldd  
in hancalroval of rinnenval

Door de beperking van de theorie hebben de resultaten betrekking op een denkbeeldig geval en niet rechtstreeks op de concrete situatie bij Wijk bij Duurstede.

Verwacht mag worden dat de theorie verder kan worden uitgebreid voor gevallen waarbij de schepen die voorrang moeten geven niet aselekt verdeeld over de tijd op het kruispunt aankomen, bijvoorbeeld door de aanwezigheid van sluizen. Ook lijkt het mogelijk de eis dat alle wachtende schepen gelijktijdig moeten oversteken te vervangen door een meer op de praktijk afgestemde oversteekstrategie. Een voortzetting van het onderzoek naar de verkeersafwikkeling op kruispunten en splitsingspunten van scheepvaartwegen lijkt gewenst.

#### 3.3.4. Scheepsbewegingen onder invloed van stroom

Hoewel de nauwkeurigheid van radar, met het oog op metingen, niet erg groot is, is toch een redelijke indruk verkregen omtrent de uitgevoerde manoeuvres.

Van een manoeuvre zijn uit de radarfoto's de volgende grootheden afgeleid:

$B$  : baanbreedte (m) (zie figuur 7).

$A_p$  : afstand (m) tot de pyloon aan stuurboordzijde (zie figuur 7).

Voor de vaarrichting R-W wordt de afstand tot de zuidoostelijke pyloon genomen.

$V_s$  : vaarsnelheid (m/s); snelheid waarmee het schip de rivier oversteekt.

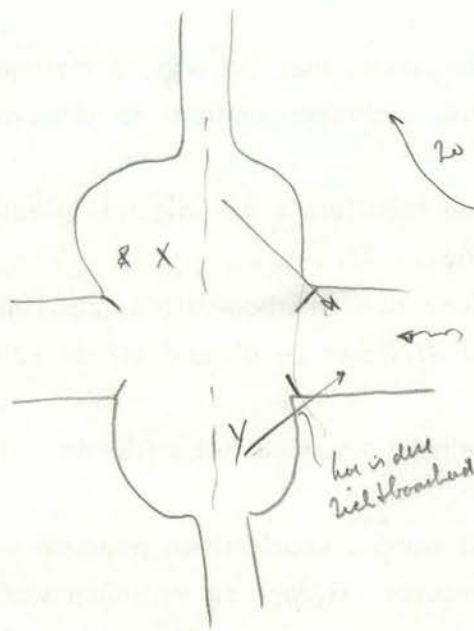
In de figuren 8 tot en met 23 worden voorbeelden gegeven van verkeerssituaties en uitgevoerde oversteekmanoeuvres. Tijdens de metingen was de stroomsnelheid 1,50 m/s.

In tabel 8 (blz. 18) wordt een overzicht gegeven van de meetresultaten. Hierin zijn tevens opgenomen twee vastgelegde oversteekmanoeuvres die op 14 april 1967 en 9 mei 1967 zijn uitgevoerd met een duweenheid (d.e.) (figuren 24 en 25).

De beladingstoestand van de schepen volgt uit de in de tabel vermelde diepgang.

aan de hand van  
minie prototype  
metingen  
plannen (mit sluizen)

~~...~~  
X



2e de grootste rood  
als u bij W-R overul  
stele e steel veel  
heeft op A-W dan  
zal bij automatische  
wat meer zij manuumet  
vulle i gebied vhal  
vndal bij reeds koudte moet

beloop R-W fuisstige moet  
bij moud den rechts koudte i Y R  
i die bij vde later veel heeft  
zij de mogelijkheids nu ten pde  
vde i moer zij wil bij jee' oflood  
vulle koudte (A-R) of manuumet.

Loch begrepen dat muste myslukke  
Jekenen bij R-W

Kie te verklaren?

Wat japponi die slechte 2e begrepen  
mit mit kop i strom, moer valle ab  
e de of

*Totale breedte ca 270 m  
Linn pylons NO ca 20.*

scheeps- type <sup>4)</sup>	laad- vermogen	afmetingen L x b x d	V <sub>s</sub>	B	A <sub>p</sub>	vaar- richting	stroom- snelheid
	(tonnen)	(m <sup>3</sup> )	(m/s)	(m)	(m)		(m/s)
+ m.s. (8) <sup>1)</sup>	799	67 x 7,20 x 2,00	2,6	70	65	W-R	1,50
m.s. (9)	1413	80 x 9,50 x 2,82	2,4	95 <sub>9</sub>	130 <sub>9</sub>	W-R	1,50
X m.s. (9)	214	36 x 5,20 x 2,00	3,0	50	100 <sub>4</sub>	W-R	1,50
X m.s. (10)	1202	80 x 8,20 x 2,50	3,0	53	145 <sub>15</sub>	W-R	1,50
m.s. (11)	910	67 x 8,20 x 2,50	2,9	50 <sub>105</sub>	70	R-W	1,50
+ m.s. (12)	473	55 x 7,00 x 2,10	2,5	62 <sub>115</sub>	140 <sub>11</sub>	W-R	1,50
m.s. (13)	516	50 x 6,60 x 2,26	2,5	82	55 <sub>4</sub>	R-W	1,50
m.s. (14)	507	50 x 6,60 x 2,24	3,2	47	60	R-W	1,50
m.s. (14)	529	50 x 6,60 x 1,50	3,0	30	105	W-R	1,50
m.s. (14)	940	67 x 8,20 x 0,70	4,0	35	35	R-W	1,50
m.s. (15)	243	36 x 5,40 x 0,60	3,5	35	35	R-W	1,50
m.s. (16)	473	35 x 7,04 x 2,20	3,5	35	145	W-R	1,50
m.s. (17)	497	50 x 6,60 x 2,10	3,0	35	70	R-W	1,50
sl.s. (19)	2543	100 x 12,00 x 2,84	1,6	137	80	W-R	1,50
sl.s. (19)	475	51 x 7,26 x 2,16	2,1	62	55	R-W	1,50
sl.s. (20)	1700	87 x 10,70 x 2,64	1,3	131	30	R-W	1,50
sl.s. (21)	1386	80 x 9,50 x 2,40	2,5	83	55	R-W	1,50
sl.s. (22)	1301	85 x 10,10 x 2,40	2,4	85	45	R-W	1,50
d.e. (23)	1624	102 x 9,50 x 2,50	2,7	90	62	R-W	1,50
d.e. (24) <sup>2)</sup>	3200	170 x 9,50 x 2,90	2,3	95	160	W-R	1,15
d.e. (25) <sup>3)</sup>	3200	170 x 9,50 x 2,90	2,4	60	150	W-R	1,05

*met  
ca 70  
"Baan 11"*

*ik kwam tot  
min 0,6  
ca 65 m*

*hoe als W-R  
zie R-W  
zijn bij 19*

1) meting 5 januari 1968  
 2) meting 14 april 1967  
 3) meting 9 mei 1967  
 4) cijfers tussen haakjes verwijzen naar figuurnummer

Tabel 8. Resultaten prototypemeting (overstekende scheepvaart)

0 = opvaart      a = afvaart

Volg- nr.	tijd- stip	richting	Volg- nr.	tijd- stip	richting	Volg- nr.	tijd- stip	richting
1	8.39	0	28	10.56	a	55	13.12	a
2	8.40	0	29	10.57	a	56	13.17	a
3	8.41	0	30	11.01	a	57	13.24	a
4	9.02	0	31	11.03	0	58	13.25	a
5	9.07	a	32	11.07	0	59	13.30	0
6	9.08	a	33	11.19	a	60	13.32	a
7	9.09	a	34	11.32	a	61	13.47	a
8	9.10	a	35	11.45	a	62	13.47	0
9	9.14	0	36	11.48	0	63	13.50	0
10	9.16	0	37	12.07	0	64	13.52	a
11	9.28	0	38	12.08	a	65	13.58	a
12	9.33	a	39	12.09	0	66	14.00	0
13	9.39	a	40	12.15	0	67	14.01	0
14	9.47	a	41	12.17	0	68	14.03	0
15	9.51	0	42	12.26	a	69	14.05	0
16	9.56	a	43	12.31	a	70	14.09	a
17	10.03	0	44	12.31	a	71	14.14	a
18	10.04	a	45	12.34	a	72	14.17	a
19	10.19	a	46	12.37	a	73	14.20	a
20	10.23	a	47	12.43	0	74	14.24	0
21	10.24	a	48	12.45	a			
22	10.25	a	49	12.48	0			
23	10.28	0	50	12.50	0			
24	10.42	0	51	12.53	a			
25	10.47	a	52	12.55	a			
26	10.49	a	53	12.56	a			
27	10.52	0	54	13.07	0			

De schepen met vaar-  
richtingen W-A en R-A  
zijn buiten beschouwing  
gelaten.

Tabel 9A. Schepen die tussen 8.30 uur en 14.30 uur de stuw bij Amerongen  
gepasseerd zijn op 5 januari 1968.

0 = opvaart    a = afvaart

Volg- nr.	tijd- stip	richting	Volg- nr.	tijd- stip	richting	Volg- nr.	tijd- stip	richting
1	8.40	a	28	10.37	0	55	13.15	a
2	8.45	a	29	10.40	a	56	13.35	a
3	8.45	a	30	10.45	0	57	13.35	a
4	8.45	a	31	10.50	0	58	13.45	a
5	8.50	0	32	10.52	0	59	13.50	a
6	9.00	0	33	11.00	a	60	13.55	a
7	9.02	0	34	11.07	0	61	13.55	0
8	9.15	a	35	11.10	0	62	14.00	a
9	9.20	0	36	11.25	a	63	14.00	0
10	9.20	0	37	11.25	0	64	14.05	0
11	9.25	a	38	11.30	a	65	14.05	0
12	9.25	a	39	11.35	a	66	14.05	0
13	9.35	a	40	11.37	0	67	14.05	0
14	9.45	a	41	11.40	a	68	14.14	a
15	9.45	a	42	11.40	a	69	14.25	a
16	9.45	a	43	11.50	a	70	14.25	a
17	9.45	0	44	11.50	0	71	14.25	0
18	10.00	0	45	11.52	0			
19	10.05	0	46	12.10	a			
20	10.10	a	47	12.15	a			
21	10.10	0	48	12.20	a			
22	10.25	0	49	12.20	0			
23	10.30	a	50	12.28	a			
24	10.30	0	51	12.33	0			
25	10.33	0	52	12.35	a			
26	10.35	a	53	12.37	0			
27	10.35	0	54	12.54	a			

De schepen met vaar-  
richting R-H en W-H  
zijn buiten beschouwing  
gelaten.

Tabel 9B. Schepen die tussen 8.30 uur en 14.30 uur de stuw bij Hagestein  
gepasseerd zijn op 5 januari 1968



De in tabel 8 gegeven woorden van  $B$  en  $A_p$  vertonen onderling een grote spreiding. De oorzaak hiervoor moet niet alleen worden gezocht in een verschil in scheepstype, scheepsgrootte, beladingstoestand en vaarsnelheid maar ook in verschillen in het uitvoeren van de oversteekmanoeuvre (zie modelresultaten paragraaf 7.2.). Deze oversteekmanoeuvres kunnen tevens worden beïnvloed door de aanwezigheid van meerdere schepen op de kruising.

In de figuren 26 en 27 worden enkele voorbeelden gegeven van afslaande vaart.

#### 4. Model

##### 4.1. Bouw en inrichting

In figuur 28 is een overzicht van het model gegeven. De meetkundige grondslag van het model is ontleend aan door de Rijkswaterstaat verstrekte gegevens. Voor de bodemligging van de rivier en de kruising is uitgegaan van de volgende tekeningen:

- a) Bodemligging van de cirkulatiekommen en de voorhavens:  
tekening no. A3 4847 van de Rijkswaterstaat, Directie Utrecht, Arrondissement Utrecht II
- b) Bodemligging van de rivier ter plaatse van de kruising:  
tekening no. A1 59.398 van de Rijkswaterstaat, Directie Bovenrivieren, Afdeling Studiedienst
- c) Bodemligging van de riviergedeelten nabij de kruising:  
de tekeningen A6 59.165 en A7 59.166 van de Rijkswaterstaat, Directie Bovenrivieren, Afdeling Studiedienst.

De watertoevoer is ingesteld met een automatische Romijnstuw. Voor het instellen van de waterstand is gebruik gemaakt van twee kleppen. De waterstand is gemeten met enige peilnaalden. Ten behoeve van het fotografisch vastleggen van scheepsbewegingen is bij de kruising een toren met een hoogte van 27 m gebouwd.

#### 4.2. Schepen

Voor de vaarproeven is gebruik gemaakt van in het Laboratorium voorhanden zijnde modelschepen. De toegepaste scheepstypen zijn gegeven in figuur 29. Daarnaast zijn de hoofdafmetingen en gegevens van deze schepen in tabel 10 vermeld.

Omschrijving	Scheepstype	
	motorschip (RHK-type)	duweenheid
lengte	80,0 m	191,0 m
breedte	9,5 m	22,8 m
diepgang	2,5 m	3,3 m
waterverplaatsing	1600 ton	11.300 ton
aantal schroeven	1 in straalbuis	2 in straalbuis (ongek.)
max. toerental	ca. 340 omw/min.	ca. 275 omw/min.
max. vermogen	680 apk.	2 x 750 apk.
aantal roeren	3	2 hoofdروeren
		2 paar flankingroeren
max. roeruitslagen	45° SB - 45° BB	50° SB - 50° BB
max. roersnelheid	3 °/s	4 °/s

Tabel 10. Gegevens schepen

Het motorschip was een vrijvarend schip. De besturing geschiedde vanaf de kant met behulp van een systeem waarbij de overdracht van de besturingssignalen plaatsvond door middel van een ringleiding rond het model. De roerhoek en het toerental van de schroef waren continu instelbaar.

De duweenheid was zodanig ingericht dat de modelstuurman erin kon plaatsnemen. Het toerental van de schroeven en de roerhoeken waren continu regelbaar door middel van een elektrisch systeem.

### 4.3. Schalen en schaaffecten

#### 4.3.1. Schalen

Voor de schaal van het model is 1 : 25 gekozen. De keuze van deze schaal werd voornamelijk bepaald door in het Laboratorium voorhanden zijnde modelschepen en doordat bij deze schaal, gezien de grootte van de schepen, schaaffecten tot een aanvaardbaar minimum beperkt konden worden. De lengte- en hoogteschaalfactor zijn dus  $n_L = n_h = 25$ . De snelheidsschaalfactor is, gebaseerd op de schaalwet van Froude,  $n_v = (n_h)^{1/2} = 5$ .

Uit het bovenstaande zijn de volgende schaaffectoren afgeleid:

tijdschaalfactor:  $n_t = n_L/n_v = 5$

ruwheidsschaalfactor:  $n_C = 1$

debietenschaalfactor:  $n_L \cdot n_h \cdot n_v = 3125$ .

De in dit verslag gegeven grootheden zijn uitgedrukt in prototypematen, tenzij anders vermeld.

#### 4.3.2. Schaaffecten bij de besturing van schepen

Doordat de scheepsweerstand niet op schaal is (in verhouding is de weerstand van het scheepsmodel te groot), dient een hoger toerental van de schroeven te worden toegepast. Uit experimenten van het Laboratorium blijkt de overdrijvingsfactor voor het motorschip en de duweenheid respectievelijk 1,12 en 1,15 te zijn. Dit heeft tot gevolg dat enerzijds de schroefsnelheden te groot zijn en de stuwdruk op het roer dus te groot is. Door het niet op schaal zijn van de viskeuze krachten is anderzijds de volgroom achter het schip te groot, waardoor de druk op het roer afneemt.

De invloed van bovengenoemde verschijnselen blijken elkaar vrijwel op te heffen zoals uit eerder verrichte onderzoekingen is gebleken. Dientengevolge is de invloed van het niet op schaal zijn van de scheepsweerstand op het manoeuvreren verwaarloosbaar.

Andere effecten die invloed op de proeven uitoefenen zijn de optredende menselijke schaaleffecten. Bij de besturing van het modelschip vanaf de kant heeft de modelstuurman enerzijds een beter overzicht van de positie van het schip op de kruising, anderzijds zal hij bij vergroting van de afstand tussen het schip en de plaats van besturing koersafwijkingen minder snel opmerken. Daarnaast moet de modelstuurman zijn beslissingen en ingrepen op tijdschaal uitvoeren, wat betekent dat hij vijfmaal sneller moet reageren op koersafwijkingen dan in werkelijkheid. Het effect van het vijfmaal sneller reageren op koersafwijkingen heeft op het manoeuvreren weinig invloed doordat de menselijke reactietijd toch nog zeer klein is in verhouding tot de tijdsduur van de verschillende scheepsbewegingen in het model. Bovendien werden de proeven uitgevoerd met een zeer ervaren stuurman, die door de vele herhalingen van de vaarproeven, een groot inzicht had in de optredende stromingen. De proeven zijn, tenslotte, uitgevoerd met een goed bestuurbaar scheepsmodel met een nautisch gunstige vormgeving, terwijl in werkelijkheid ook minder goed bestuurbare schepen voorkomen.

Bij het besturen van de duweenheid treden er eveneens menselijke schaaleffecten op. Enkele daarvan zijn reeds bij het motorschip behandeld namelijk het op tijdschaal uitvoeren van correcties op koersafwijkingen en het feit dat de modelstuurman door de vele vaarproeven een goed inzicht in de optredende stromingen had. In het model kan, door de geringe afmetingen van de situatie, een stuurman de positie van zijn schip relatief beter beoordelen dan in werkelijkheid.

Gezien het feit dat de modelstuurman de positie van zijn schip beter kan bepalen dan in werkelijkheid en dat hij door de vele herhalingen van de vaarproeven een groot inzicht heeft in de stromingstoestanden, lijkt het waarschijnlijk dat de resultaten van de proeven in het algemeen een te gunstig beeld geven.

## 5. Randvoorwaarden (Afvoeren en waterstanden)

Voor de afvoeren van de Lek en de daarbij optredende waterstanden is uitgegaan van de situaties zoals die optraden voor het in werking treden van de stuwen in de Lek. Afvoer-waterstandsrelatie en onderschrijdingsfrequenties zijn weergegeven in figuur 30 (ontleend aan tekeningen no. 66.672 en 67.727 van Rijkswaterstaat). De proeven zijn uitgevoerd met de in tabel 11 vermelde afvoeren, die ontleend zijn aan figuur 30.

Afvoer (m <sup>3</sup> /s)	Waterstand te Wijk bij Duurstede vóór Rijnkanalisatie (in m t.o.v. N.A.P.)
325	+ 2,54
468	+ 3,34
825	+ 4,70
1360	+ 6,20

Tabel 11. Afvoeren en waterstanden

Bij een afvoer van de Lek kleiner dan of gelijk aan 825 m<sup>3</sup>/s blijft de waterspiegel beneden de schermwanden van de stroomgeleiders. Bij grotere afvoeren stroomt een gedeelte van het water over de uiterwaarden en de schermwanden.

## 6. Modelproeven

### 6.1. Overzicht

Het onderzoek bestaat uit de volgende delen:

- a. Vaarproeven met een duweenheid in de huidige situatie (T0; figuur 48) om een inzicht te verkrijgen in het gedrag van een duweenheid die de kruising oversteeft bij grote rivierafvoeren. Daarnaast zijn vaarproeven met een groot motorschip verricht om een vergelijking tussen het model en de werkelijkheid mogelijk te maken.

- b. Aan de hand van de resultaten, die verkregen zijn uit bovengenoemde proeven zijn er wijzigingen in de vormgeving aangebracht. Bij deze gewijzigde vormgevingen zijn, voor zover nodig, vaarproeven verricht. De invloed van de vormveranderingen op het stroombeeld, de slingeringen en de uitwisseling tussen de rivier en de cirkulatiekomen zijn eveneens in het scheepvaartmodel onderzocht, dit om een schatting van het slibbezwaar bij de gewijzigde vormgevingen mogelijk te maken voor de verslaggeving hierover wordt verwezen naar de Appendices A, B en C van deel II van het verslag.

## 6.2. Meetmethoden

Bij de vaarproeven zijn de opvolgende posities van het schip fotografisch geregistreerd. Het interval tussen de opnamen bedroeg voor het motorschip 3 seconden (model) en voor de duweenheid 6 seconden (model). De roerhoek en het toerental van het motorschip zijn met een penschrijver geregistreerd, terwijl deze van de duweenheid vastgelegd zijn met een bandrecorder. Naderhand zijn de gegevens van de band van de recorder uitgeschreven met een penschrijver.

De stroomsnelheid in de cirkulatiekomen is bepaald met stokdrijvers (Appendix A van deel II).

Waterspiegelvariaties in de voorhavens, als gevolg van de slingeringen, zijn gemeten met weerstandsgolfhoogtemeters en geregistreerd met een penschrijver. Uit de registraties zijn de periode en de amplitude van de slingeringen afgeleid (Appendix B van deel II).

Voor het bepalen van het percentage van de rivierafvoer dat in de cirkulatiekomen terecht komt (uitwisselingspercentage) is de volgende werkwijze toegepast. Met een Ott-molen zijn in verschillende punten van een raai, rakend aan de bovenstroomse stroomgeleiders, de gemiddelde snelheden bepaald. Uit deze snelheidsmetingen werd een afvoerverdeling afgeleid. Tevens werden in de afzonderlijke meetpunten van de raai gedurende een gehele slingerperiode en om de 2 seconden (model) stokdrijvers uitgezet. Het uitwisselingspercentage in een meetpunt is dan:

$$\frac{\text{aantal stokdrijvers dat in de cirkulatiekomen gaat}}{\text{totaal aantal uitgezette stokdrijvers}} \times 100 \%$$

Door de percentages van de afzonderlijke meetpunten in het afvoerdiagram weer te geven kon het totale uitwisselingspercentage worden bepaald (Appendix C van deel II).

## 7. Resultaten van de vaarproeven in de T0-situatie

### 7.1. Beschrijving van de manoeuvres

De oversteekmanoeuvres zijn in het model uitgevoerd bij de randvoorwaarden zoals deze in hoofdstuk 5 zijn vermeld. Het kleinste debiet, dat bij het varen met een duweenheid is toegepast, is  $468 \text{ m}^3/\text{s}$ . Bij een debiet van  $325 \text{ m}^3/\text{s}$  (waterstand N.A.P. + 2,54 m) is het door de geringe waterdiepte niet mogelijk om met een afgeladen duweenheid (diepgang 3,30 m) de oversteekmanoeuvre uit te voeren. Uit de randvoorwaarden is, voor de verschillende afvoeren, de gemiddelde stroomsnelheid tussen de bovenstroomse stroomgeleiders berekend. Figuur 31 toont het verband tussen afvoer en stroomsnelheid.

Een schip dat een oversteekmanoeuvre gaat uitvoeren, vaart vanuit de voorhaven, met bijna stilstaand water, de cirkulatiekom binnen. Tijdens het binnenvaren ondergaat het schip de invloed van de neerstroom waarvan de snelheid niet konstant is maar varieert met de slingeringen van de rivier op de kruising. De neerstroom is aan de rand het sterkst. Meer naar het centrum van de neer toe neemt de stroomsnelheid af. Het effect van deze neer op de koers van het schip blijkt uit de zuidelingse verplaatsing van het schip. Voor de vaarrichting W-R is de verplaatsing eerst over bakboord en dan over stuurboord (zie foto 2).

De overgang van de relatief zwak stromende neer naar de snelstromende rivier is vrij abrupt bij debieten kleiner dan ca.  $825 \text{ m}^3/\text{s}$ . Om wegdraaien met de stroom mee en grote verplaatsingen dwars op de gewenste koers te voorkomen, dient het schip al een vrij grote opstuurhoek te hebben als de oversteek begint. De opstuurhoek ( $\beta$ ) wordt hier gedefinieerd als het complement van de hoek tussen de scheepsas en de stroomrichting. Indien geen of een te kleine opstuurhoek

wordt toegepast, draait het schip met de stroom mee en ontstaat er een, voor wat de navigatie betreft, oncontroleerbare situatie. Bij debieten groter dan  $825 \text{ m}^3/\text{s}$  komt de waterspiegel boven de stroomgeleiders en ontstaat er een overgangsgebied waarin de stroomsnelheid geleidelijk toeneemt van de lage waarden in de neer naar de maximum waarden in de rivier. Bij deze meer geleidelijke overgang wordt de schipper danook gewaarschuwd, dat hij dient op te sturen en heeft hij hier ook, zij het kort, de gelegenheid voor. Tevens is hij beter in staat om de juiste opstuurhoek te bepalen.

Zodra het voorschip de rivier gepasseerd is krijgt het achterschip de neiging om met de stroom mee te draaien. Voordat deze draaiing merkbaar wordt moet reeds tegenroer worden gegeven. Vooral bij duweenheden luistert dit vrij nauw, omdat bij een iets te ver doorschieten de ruimte ontbreekt om in de gewenste baan terug te komen (vergelijk foto 2 en 3). Deze ongewenste draaiing wordt na het passeren van de rivier versterkt door de neerstream. Mede bepalend voor het in de gewenste baan komen van de duweenheid zijn tevens de positie van de duweenheid, en de hoek die de duweenheid maakt met de gewenste koerslijn, als het voorschip de rivier gepasseerd is.

Een schip dat de rivier afkomt en een cirkulatiekom invaart beschrijft onder invloed van de rivierstroom een vrij ruime baan en vertoont eveneens de neiging om met het achterschip door te zwaaien.

## 7.2. Meetresultaten

De oversteekmanoeuvres zijn systematisch van opzet. De opdracht aan de modelstuurman was om zodanig over te steken dat de in beslag genomen ruimte zo klein mogelijk was. Voordat de oversteekmanoeuvres werden geregistreerd had de stuurman reeds geruime tijd geoefend. Tijdens de oversteek werd het toerental van de schroeven konstant gehouden om zodoende een vergelijking tussen de verschillende vaarten mogelijk te maken. Bij de verschillende randvoorwaarden werd vanuit verschillende startposities en met verschillende toerentallen gevaren.



Uit de fotoregistratie werden de volgende grootheden afgeleid:

- a. Vaarsnelheid  $v_s$  van het schip.
- b. De opstuurhoek  $\beta$  van het schip (complement van de hoek tussen scheepsas en stroomrichting).
- c. De driftbreedte  $B_d$  van het schip. Dit is de maximale baanbreedte ( $B$ ) van het schip verminderd met de scheepsbreedte ( $b$ ); zie figuur 7.

Daar de driftbreedte afhankelijk is van de vaarsnelheid en de rivierafvoer (optredende stroomsnelheid) zijn voor de verschillende afvoeren deze grootheden voor het motorschip en de duweenheid in de figuren 32 tot en met 38 gegeven.

Bij de oversteekmanoeuvres van een motorschip kunnen zich 3 situaties voordoen:

- a. Het schip heeft een zodanige opstuurhoek dat er een evenwichtssituatie ontstaat (figuur 39a). Het schip vaart dan onder een evenwichtshoek over de kruising.
- b. Een opstuurhoek groter dan de evenwichtshoek (figuur 39b).
- c. Een opstuurhoek kleiner dan de evenwichtshoek (figuur 39c).

ad a. In het geval dat het motorschip onder een evenwichtshoek ( $\alpha$ ) over de kruising vaart (foto 4) (dus als de component van de vaarsnelheid in de richting van de stroom gelijk is aan de stroomsnelheid) is de driftbreedte  $B_d = L \sin \alpha$  (figuur 39a). In deze formule is  $L$  de scheeps lengte en  $\alpha$  de evenwichtshoek. In de evenwichtssituatie is  $v_s \sin \alpha = v_w$  (zie figuur 39a) of  $\sin \alpha = v_w / v_s$  dus  $B_d = L \cdot v_w / v_s$ .

ad b. Bij een te grote opstuurhoek is de driftbreedte de breedte die het schip momentaan in beslag neemt ( $L \sin \beta$ , waarbij  $\beta$  de opstuurhoek is) en een breedte  $a$  ten gevolge van het opsturen in de rivier (zie figuur 39b en foto 5).

ad c. Bij een opstuurhoek die kleiner is dan de evenwichtshoek bestaat de driftbreedte uit de breedte die het schip momentaan in beslag neemt ( $L \sin \beta$ , waarbij  $\beta$  de opstuurhoek is) en een breedte  $b$  als gevolg van de zijdelingse verplaatsing (zie figuur 39c en foto 6).

De oversteek met de duweenheid geschiedde meestal met een opstuurhoek, die kleiner was dan de evenwichtshoek. Door de grote lengte van de bij het onderzoek gebruikte schepen ten opzichte van de stroomvoerende breedte wordt vooral de driftbreedte van de duweenheid in grote mate beïnvloed door de momenten die op het schip worden uitgeoefend als het schip in de stroom komt en de stroom weer verlaat. Het bovengenoemde verband  $B_d = L \cdot v_w/v_s$  is voor dit geval dus niet van toepassing.

De driftbreedte wordt mede bepaald door de manoeuvreereigenschappen van het schip en de wijze waarop de roerganger stuurt. De samenhang tussen deze grootheden is in het model experimenteel vastgesteld. De resultaten worden uiteindelijk gepresenteerd in de vorm van grafieken waarin  $B_d/B_p$  is uitgezet tegen  $v_w/v_s$ . Hierin is  $B_p$  de beschikbare breedte tussen de boven- en benedenstroomse pylonen in toestand T0 (264 m) (zie figuur 40).

In de figuur zijn lijnen getrokken waarboven het aangegeven percentage van de meetpunten ligt. De meetpunten geven een grote spreiding te zien. Het verschil tussen de 10 %-lijn en de 90 %-lijn is ongeveer een factor 2. De spreiding heeft verschillende oorzaken, die ook in het prototype een belangrijke rol zullen spelen.

- a. Menselijk handelen. Dit zal ondanks de geoefendheid nooit exakt hetzelfde zijn bij twee manoeuvres (vergelijk bijvoorbeeld de foto's 4, 5 en 6 waarbij door de stuurman verschillende opstuurhoeken zijn toegepast).
- b. Slingeringen van de rivier op de kruising waardoor de stroom bij twee oversteekmanoeuvres verschillend van richting kan zijn. De bij een prototypemeting van de Rijkswaterstaat [3] gevonden richtingsveranderingen van de stroom (gemiddeld over de gehele stroomvertikaal) zijn in figuur 41 gegeven. Hieruit blijkt dat variaties in de stroomrichting van 20 graden kunnen optreden. Het effect hiervan op de driftbreedte van een motorschip, dat onder een evenwichtshoek oversteekt van R-W, blijkt uit tabel 12 (evenwicht:  $v_s \sin \alpha = v_w$  en de driftbreedte  $B_d = L \sin \alpha$ ).

hoek tussen stroomrichting en vaarrichting ( $\gamma$ in figuur 41) (graden)	opstuurhoek $\beta$ (evenwichtssituatie $\beta = \alpha$ ) (graden)	driftbreedte (m)
90°	31,5	41,5
100°	21,5	29,5
80°	41,5	52,5

Tabel 12. Driftbreedte van het motorschip

- c. Windinvloed. Er is naar gestreefd de proeven bij windstil weer te verrichten. Absolute windstilte komt echter zelden voor.

Bij een deel van de oversteekmanoeuvres is getracht zoveel mogelijk de as van het vaarwater te houden. Bij een ander deel is, voor zover dat mogelijk was, de as aan bakboord gehouden. Een mogelijk verschil in driftbreedte is hierbij, evenals tussen de oversteekmanoeuvres uit de vaarrichtingen R-W en W-R, niet aangetoond. Ook is er geen aantoonbaar verschil tussen de driftbreedten van een motorschip en een duweenheid bij gelijke vaarsnelheid en stroomsnelheid.

Ook bij een debiet van  $1360 \text{ m}^3/\text{s}$  is een aantal vaarten verricht zowel met de duweenheid als met het motorschip. De driftbreedte wordt weergegeven in figuur 42 waarin ter vergelijking de lijnen uit figuur 40 zijn overgenomen. Uit de meetresultaten blijkt dat de oversteekmanoeuvre relatief gunstiger verloopt dan bij debieten die kleiner zijn dan  $825 \text{ m}^3/\text{s}$ . Dit komt, omdat door een grotere stroomvoerende breedte de gradiënten kleiner zijn.

In figuur 43 is voor het motorschip weergegeven wat de invloed is van een te kleine opstuurhoek of van het te laat tegenroer geven. Bij de duweenheid heeft te laat tegenroer geven meestal een aanvaring met de oever tot gevolg (foto 3).

In figuur 44 worden de meetresultaten uit het prototype vergeleken met de modelresultaten. Tien van de twaalf meetpunten liggen boven de 50 %-lijn wat zou kunnen betekenen dat de meetresultaten uit het model aan de gunstige kant zijn.

Zoals uit paragraaf 3.3.3. volgt is de kans groot dat een schip, dat wil oversteken, voorrang moet verlenen aan passerende schepen op de rivier. De schepen moeten vaart minderen of geheel afstoppen om daarna, als de rivier voor enige tijd vrij is, te starten en opnieuw snelheid te winnen met het oog op de oversteek. Om een indruk te krijgen van de snelheid die de schepen vanuit stilstand, na een bepaalde afstand en/of bepaalde tijd, kunnen bereiken zijn acceleratieproeven verricht met de scheepsmodellen. De resultaten hiervan worden gegeven in de figuren 45 en 46.

De prototypemeting levert voor twee schepen de volgende waarden: De motorschepen Manon (473 t) en W.T.A.G. (1202 t) begonnen de oversteek vanuit ongeveer stilstand en hadden na afstanden van respectievelijk 120 en 180 m een snelheid van 2,5 m/s en 3,0 m/s. Voor het motorschip uit het model werden deze snelheden bereikt na dezelfde afstanden bij toerentallen van respectievelijk ca. 275 en 295 omw/min.

In figuur 37 worden de banen gegeven van het motorschip dat met verschillende aanvangssnelheden op de rivier, bij verder konstant gehouden toerentallen van de schroef, de route A-W vaart. Een iets kortere draai is mogelijk als het toerental tijdelijk wordt verhoogd.

Op grond van de proefresultaten uit het model kunnen verder de volgende opmerkingen worden gemaakt:

- In het geval van een niet gestuwde rivier is het voor een wachtende duweenheid vrijwel niet mogelijk om zich in de cirkulatiekomen te handhaven, in verband met de neerstroom. Motorschepen zijn hiertoe beter in staat al drijven ook die langzaam naar de oostzijde van de kom, vooral indien het wachten lang duurt. Dit laatste is ook in het prototype gekonstateerd.
- Een duweenheid heeft een vrij grote afstand nodig om op snelheid te komen. Dit is vooral van belang bij hoge stroomsnelheden op de rivier. Indien een duweenheid moet wachten om voorrang te verlenen, dient dit op vrij grote afstand van de rivier te gebeuren.
- Bij vaarten met de duweenheid in de richting W-R, waarbij de stuurman opdracht had om op de stuurboordshelft te blijven, werd de afstand tot de

pylonen ( $A_p$ ) vrijwel nooit kleiner dan 50 à 60 meter (foto 7). Bij het bewust toepassen van kleinere afstanden kwam de duweenheid na de oversteek in moeilijkheden, omdat dan een vrij scherpe S-bocht beschreven moet worden om de ingang van de voorhaven te kunnen invaren. Kleine afstanden tot de pylonen brengen tevens het risico mee dat een kleine fout bij het manoeuvreren resulteert in een aanvaring met deze constructies.

- Nadat de duweenheid de kruising is overgestoken, en de aansluitende voorhaven invaart, is de breedte die daar door de duweenheid in beslag wordt genomen vrij groot, zodat er weinig ruimte beschikbaar blijft voor tegemoet komende schepen.

## 8. Het bepalen van de benodigde breedte voor een oversteekmanoeuvre

### 8.1. Opzet

Voor het bepalen van de breedte die een schip in beslag neemt tijdens het oversteken van de rivier, is het niet voldoende om alleen rekening te houden met de maximale baanbreedte. Tevens moet een bepaalde afstand tot de pylonen en een veilige afstand tot een eventuele tegenligger in rekening worden gebracht. Voorts dienen er veronderstellingen te worden gemaakt met betrekking tot het verband tussen de driftbreedte en de vaar- en stroomsnelheid en over de toe te passen vaarsnelheid. Deze verschillende aspecten zullen in de volgende paragrafen worden besproken.

Het uitgangspunt bij alle berekeningen is een situatie met ongestuwde rivier.

### 8.2. Vaarsnelheid

De vaarsnelheid van de afgeladen duweenheid bij het passeren van de rivier hangt, behalve van het beschikbare motorvermogen, af van de omstandigheid of de duweenheid direct door kan varen of eerst moet wachten met het oog op de riviervaart. Voor een motorschip geldt dezelfde overweging.

Uit de prototypemetingen (tabel 8) blijkt dat de vaarsnelheden van de grote geladen motorschepen, tijdens de oversteek, globaal variëren van 2,4 tot 3,0 m/s.

Tijdens de oversteek van de duweenheden (tabel 8 onderaan) bedroeg de snelheid ongeveer 2,3 à 2,4 m/s. De verhouding tussen motorvermogen en laadvermogen in dit laatste geval, was groter dan die bij de duweenheid in het model.

Een indruk van de vaarsnelheden in het model kan worden verkregen uit de figuren 45 en 46.

De vaarsnelheden, die op grond van de bovenstaande overwegingen bij de berekening worden toegepast, zijn vermeld in tabel 13.

schip	omstandigheid	Vaarsnelheid ( $v_s$ ) tijdens oversteek
duweenheid (d.e.)	direct doorvaren	2,5 m/s
duweenheid (d.e.)	wachten op 250 meter <sup>x)</sup>	2,3 m/s
duweenheid (d.e.)	wachten op 175 meter <sup>x)</sup>	2,0 m/s
motorschip (m.s.)	direct doorvaren	3,0 m/s
motorschip (m.s.)	wachten op 125 meter <sup>x)</sup>	2,7 m/s
<sup>x)</sup> Afstanden tot midden van de kruising		

Tabel 13. Toe te passen vaarsnelheden

### 8.3. Baanbreedte

De driftbreedte (d.i. de baanbreedte verminderd met de scheepsbreedte) kan worden bepaald aan de hand van figuur 40. Met het oog op de grote spreiding moet er echter een keuze worden gedaan ten aanzien van het verband tussen de beide parameters. De meetresultaten in de figuren 43 en 44 wijzen erop dat de gemiddelde uitkomsten van het model aan de gunstige kant zijn. Uit veiligheidsoverwegingen verdient het daarom aanbeveling om de 10 %-lijn aan te houden.

Bij zeer grote debieten, b.v.  $Q > 1200 \text{ m}^3/\text{s}$ , is de 10 %-lijn waarschijnlijk te ongunstig zoals volgt uit figuur 42. Voor een beoordeling van de veiligheid

op de kruising is dit echter irrelevant, omdat deze grote debieten slechts een geringe frekwentie hebben.

Omtrent de driftbreedten van sleepschepen zijn geen gegevens uit het model voorhanden. Uit waarnemingen uit het prototype (tabel 8), blijkt dat de baanbreedten voor de grote sleepschepen variëren van 80 tot 140 m.

Bij het bepalen van de benodigde ruimte voor een overstekend schip moet ook nog rekening gehouden worden met de spreiding (S) in de plaats van de baan (figuur 7). Zowel voor het motorschip als voor de duweenheid is deze spreiding gemiddeld op ca. 10 m geschat.

#### 8.4. Veiligheidsmarges

Uit de prototypemetingen bleek, dat voor de richting W-R een grote afstand gehandhaafd werd tot de benedenstroomse stroomgeleiders. Voor de tien schepen uit tabel 8 varieert de afstand  $A_p$  van 65 tot 160 m en bedraagt het gemiddelde ca. 120 m. Uit het modelonderzoek volgt, dat voor de duweenheid een minimale waarde van  $A_p = 50$  à 60 m mogelijk is. Voor het motorschip zal de minimale waarde ca. 40 m bedragen.

De afstand tot de bovenstroomse pylonen varieerde, voor de vaarrichting R-W, tijdens de prototypemeting van 30 tot 110 m. De gemiddelde afstand, uit 10 waarnemingen, bedroeg ca. 60 m. In het model werd, bij de vaarrichting R-W, een minimale afstand van 30 à 40 m aangehouden.

Op grond van deze gegevens lijkt het redelijk om de in de tabel 14 vermelde minimale waarden voor  $A_p$  in de berekening toe te passen.

Vaarrichting	schip	$A_p$ (min) (m)
W-R	d.e.	60
W-R	m.s.	40
R-W	d.e.	40
R-W	m.s.	30

Tabel 14. Minimale waarden voor  $A_p$

Tussen twee schepen, die elkaar ontmoeten, dient een veiligheidsstrook aanwezig te zijn. Het is redelijk om de aanvaardbare breedte van de strook afhankelijk te stellen van de baanbreedten van de ontmoetende schepen.

### 8.5. Benodigde totale breedte

De berekening van de totale breedte ( $B_t$ ) wordt uitgevoerd gebaseerd op de veronderstellingen in de voorgaande paragrafen. De driftbreedte wordt bepaald uit figuur 40. Hierbij is gebruik gemaakt van de 10 %-lijn en de 50 %-lijn zoals tussen haakjes wordt aangegeven in de tabellen 15 en 16. Om de totale breedte ( $B_t$ ) te berekenen dient bij de driftbreedte ( $B_d$ ) opgeteld te worden: de scheepsbreedte + spreiding in de plaats van de baan (10 m) + afstand tot de pylonen ( $A_p$ ). Hieruit volgen voor duweenheden en motorschepen, afhankelijk van de vaarrichting, de volgende waarden voor  $B_t$ :

d.e. ; W-R :  $B_t = B_d + 23 + 10 + 60 = (B_d + 93)$  m

d.e. ; R-W :  $B_t = B_d + 23 + 10 + 40 = (B_d + 73)$  m

m.s. ; W-R :  $B_t = B_d + 10 + 10 + 40 = (B_d + 60)$  m

m.s. ; R-W :  $B_t = B_d + 10 + 10 + 30 = (B_d + 50)$  m

In de tabellen 15 en 16 worden de waarden voor  $B_d$  en  $B_t$  vermeld die volgen uit de gegeven vaarsnelheid en het rivierdebiet van  $825 \text{ m}^3/\text{s}$ . Het verband tussen debiet en snelheid wordt gegeven in figuur 31.

$v_s$ (m/s)	$B_d$ (m)	$B_t$ (m)		Resterende (c.q. voor motorschip beschikbare breedte (m))	
		W-R	R-W	W-R	R-W
2,5	71 (10 %)	164	144	100	120
2,5	50 (50 %)	143	123	121	141
2,3	80 (10 %)	173	153	91	111
2,3	56 (50 %)	149	139	115	135
2,0	101 (10 %)	194	174	70	90
2,0	70 (50 %)	163	143	101	121

Tabel 15. Waarden van  $B_d$  en  $B_t$  voor duweenheden



$v_s$ (m/s)	$B_d$ (m)	$B_t$ (m)	
		W-R	R-W
3,0	55 (10 ‰)	115	105
3,0	39 (50 ‰)	99	89
2,7	64 (10 ‰)	124	114
2,7	45 (50 ‰)	105	95

Tabel 16. Waarden van  $B_d$  en  $B_t$  voor motorschip

Door een vergelijking van de totaal benodigde breedte en de beschikbare breedte kan voor verschillende omstandigheden een indruk omtrent de veiligheid worden verkregen. Bij een rivierdebiet van  $825 \text{ m}^3/\text{s}$  kunnen, bij aanvaarding van de gemaakte veronderstellingen, bijvoorbeeld de volgende konklusies worden getrokken.

1. Een ontmoeting van twee grote motorschepen kan veilig plaatsvinden, ook als de beide schepen in de cirkulatiekommen vanuit de stilstand starten. In dit geval is een veiligheidsstrook van minstens 26 m breedte aanwezig ( $264 - 124 - 114 \text{ m}$ ).
2. Een ontmoeting tussen een langzaam varende sleep (die veelal een grote baanbreedte heeft; zie par. 3.2.) en een motorschip is af te raden.
3. Een duweenheid kan een veilige oversteek maken in de richting W-R, indien geen ander schip de kruising oversteekt in de richting R-W. (N.B. De schepen, die in de Ravenswaayse kom aan de oostzijde liggen te wachten, lopen na de oversteek van de duweenheid geen gevaar).
4. Een oversteek van een duweenheid in de richting R-W is veilig mogelijk bij afwezigheid van een tegenligger en indien er geen schepen in de "Wijkse" kom liggen te wachten.
5. In geval van afslaan vaart in de richting A-W kan de duweenheid pas opvaren in de richting W-R (vanaf de wachtplaats in de voorhaven en dus buiten de cirkulatiekom), als het van de rivier afkomende schip de manoeuvre geheel voltooid heeft en er zichtbaar voldoende ruimte is voor de duweenheid.

De in deze paragraaf toegepaste methode is in principe goed te gebruiken om de veiligheid op de kruising te beoordelen. Het moet echter wel duidelijk zijn, dat het vaststellen van de veiligheidsmarges voor een deel subjectief gebeurd is. Ook de keuze van de 10 %-lijn uit figuur 40 is uiteraard subjectief.

#### 9. Conclusies met betrekking tot nautische aspecten van de rivierkruising

Een analyse van de gegevens uit het prototype, resultaten van enige prototypemetingen en gegevens betreffende schadevaringen leiden tot de volgende conclusies:

1. Op de rivierkruising heeft in de periode 1952-1968 een groot aantal ongevallen plaatsgevonden. De twee belangrijkste oorzaken hiervoor zijn de sterke stroom bij groote rivierafvoeren en de omstandigheid dat twee verkeersstromen elkaar kruisen. De kans op ongevallen wordt bovendien vergroot door de periodiek hoge bezettingsgraad van de kruising na schuttingen in zuidelijke richting door de sluis te Wijk bij Duurstede en in westelijke richting door de sluis te Amerongen. Dit laatste is alleen bij gestuwde rivier het geval.
2. Opvallend is het grote aantal sleepschepen, dat betrokken was bij de ongevallen, die in hoofdzaak door de stroom zijn veroorzaakt.
3. Aanvaringen tussen de kanaalvaart en de riviervaart, als gevolg van voorrangsfouten, vonden voor een groot deel plaats tussen motorschepen onderling.
4. In de periode 1952-1968 vond slechts tweemaal een aanvaring plaats tussen een schip, dat van de rivier afkwam op weg naar de sluis te Wijk bij Duurstede en een schip, dat in de "Wijkse" cirkulatiekom lag te wachten. Dit zou erop wijzen, dat een gebrek aan uitzicht vanaf de rivier op de cirkulatiekommen een minder groot probleem is, dan veelal wordt aangenomen.

5. Bij ongestuwde rivier is het waarschijnlijk, dat de Poissonverdeling, die de kans aangeeft op het aantal schepen dat per vast tijdsinterval passeert, op de riviervaart van toepassing is.
6. Bij de huidige gemiddelde verkeersintensiteit is de kans, bij toepassing van de Poissonverdeling, dat een bij de kruising aangekomen "kanaalschip" voorrang moet verlenen aan een "rivierschip", ongeveer 50 % in geval van ongestuwde rivier.
7. Uit de prototypemeting blijkt, dat de schepen die in zuidelijke richting de rivier oversteken, een grote afstand handhaven tot de benedenstroomse pylonen en daardoor een groot deel van het beschikbare oppervlak niet benutten.

De proeven in het scheepvaartmodel zijn verricht met een duweenheid, bestaande uit een duwboot en vier lichters met een laadvermogen van 2200 ton elk en een motorschip van het Rijn-Hernekanaaltype. Vaarproeven met een sleep bleken in het model niet goed uitvoerbaar. Uit de meetresultaten in de T0-situatie kunnen de volgende conclusies worden getrokken.

8. Bij een rivierdebiet van ca.  $825 \text{ m}^3/\text{s}$ , waarbij de waterspiegel ongeveer overeenkomt met de bovenkant van de stroomgeleiders, is de breedte, die de overstekende schepen in beslag nemen, maximaal. Bij grotere debieten is de overgang tussen de relatief zwakke neerstream en de sterke rivierstroom geleidelijker, wat een gunstig effect heeft op de maximale baanbreedte.
9. Het is niet gewenst, dat een duweenheid, in geval van het verlenen van voorrang, in de cirkulatiekom gaat wachten. De duweenheid neemt dan een te grote ruimte in beslag met het oog op de van de rivier afslaannde vaart of de rivier overstekende vaart. Bovendien is indien hoge stroomsnelheden optreden, de afstand tot de rivier te kort om de oversteek met voldoende snelheid te kunnen uitvoeren. (Dit bezwaar vermindert naarmate de verhouding waterverplaatsing/motorvermogen kleiner

wordt dan die van de modelduweenheid ( $11.300/1500 = 7,5 \text{ m}^3 \text{ apk}$ )<sup>1)</sup>.  
Tevens zal een wachtende duweenheid een hinderlijke invloed ondervinden van de neerstream en daardoor mogelijk de oversteek vanuit een ongunstige positie moeten beginnen.

10. Een duweenheid met  $7,5 \text{ m}^3/\text{apk}$ , die vóór de cirkulatiekom in de voorhaven ligt te wachten, zal ongeveer 5 à 7 minuten nodig hebben om vanaf de wachtplaats de rivier over te steken. Bij drukke vaart op de rivier kan dit lange wachttijden tot gevolg hebben. Wanneer veel minder  $\text{m}^3/\text{apk}$  behoeven te worden voortgestuwd, is dit bezwaar geringer<sup>1)</sup>.
11. Bij grote rivierafvoeren is er, in de huidige situatie, onvoldoende ruimte voor een overstekende duweenheid en een tegelijkertijd in tegengestelde richting overstekend motorschip.
12. Bij grote rivierafvoeren is er voor een uit de richting Ravenswaay overstekende duweenheid, onvoldoende ruimte indien de benedenstroomse helft van de "Wijkse" cirkulatiekom bezet is door wachtende schepen.
13. Uit vele proefvaarten bleek dat de huidige breedten van de voorhavens, die aansluiten op de cirkulatiekommen, te klein zijn in geval van een ontmoeting tussen een juist overgestoken duweenheid en een ander schip.

1) Uit een door het Waterloopkundig Laboratorium in 1971 verricht onderzoek naar de motorvermogens van in aanbouw zijnde duwboten en de opinie van enkele belanghebbenden blijkt dat duwboten voor duweenheden van  $2 \times 2$  bakken een vermogen zullen hebben dat 2 à 3 keer zo groot is als het vermogen van de in het model gebruikte duwboot (1500 apk).

## 10. Mogelijkheden tot verbetering van de kruising

### 10.1. Inleiding

Uit de in het voorgaande behandelde onderzoekresultaten en conclusies volgt de noodzaak de situatie voor de scheepvaart te verbeteren. De mogelijkheden hiervoor kunnen als volgt worden samengevat:

- a. Reductie van de stroomsnelheden
- b. Vergroting van de ruimte op de kruising, in de kommen en de voorhavens
- c. Regeling van het scheepvaartverkeer.

De onder a bedoelde verbetering zal de driftbreedte verkleinen, zodat de schepen op de kruising minder ruimte in beslag zullen nemen. Hierbij kan worden gedacht aan het vergroten van de breedte tussen de bovenstroomse pylonen en/of het wegbaggeren van de natuurlijke vaste lagen op de kruising. De onder b bedoelde vergroting van de ruimte kan worden bereikt door het in bovenstroomse richting opschuiven van de bovenstroomse pylonen en een daarbij behorende aanpassing van de kommen. Een andere mogelijkheid is het inkorten van de boven- en/of benedenstroomse pylonen. Daarnaast kunnen tevens de voorhavens worden verruimd ook met het oog op het creëren van een wachtplaats.

De uitvoerbaarheid van de onder a en b bedoelde verbeteringen, en met name de mate waarin meer ruimte en stroomsnelheidsreductie kunnen worden verkregen, is onderzocht in het morfologisch model (zie Deel II: Morfologische aspecten). De onder c aangehaalde regeling van het scheepvaartverkeer valt buiten het kader van dit onderzoek.

Een combinatie van wijzigingen met eventueel een verkeersregeling is uiteraard ook mogelijk.

10.2. Onderzochte toestanden (zie figuur 48 en tabel 17)

In het volgende overzicht wordt een opsomming gegeven van de verschillende in het nautische en/of morfologische model onderzochte situaties. Deze situaties worden vergeleken met de toestand T0.

Toestand	Nautisch model				Morfologisch model		
	Vaarproeven	Neren	Uitwisseling	Slingering	Bodem rivier	Bodem kruising kommen	Uitwisseling
T0*	-	-	-	-	Deel II par. 4.2.1	Deel II par. 4.2.2	Deel II Appendix C
T0	Deel I Hfst. 7	Deel II Appendix A	Deel II Appendix C	Deel II Appendix B	Deel II par. 4.3	Deel II par. 4.3	Deel II Appendix C
T1	Deel I par. 10.2	-	-	-	-	-	-
T2	-	Deel II Appendix A	Deel II Appendix C	-	Deel II par. 4.4	Deel II par. 4.4	Deel II Appendix C
T3	-	Deel II Appendix A	Deel II Appendix C	-	Deel II par. 4.4	Deel II par. 4.4	Deel II Appendix C
T4	-	Deel II Appendix A	-	-	Deel II par. 4.4	Deel II par. 4.4	-
T5	-	Deel II Appendix A	-	-	Deel II par. 4.4	Deel II par. 4.4	-
T6	-	Deel II Appendix A	Deel II Appendix C	-	Deel II par. 4.4	Deel II par. 4.4	Deel II Appendix C
T7	-	Deel II Appendix A	-	-	Deel II par. 4.4	Deel II par. 4.4	-
T8	-	Deel II Appendix A	-	-	Deel II par. 4.4	Deel II par. 4.4	-
T9	-	Deel II Appendix A	-	-	Deel II par. 4.4	Deel II par. 4.4	-
T10	-	Deel II Appendix A	-	-	-	-	-
T11	-	Deel II Appendix A	-	-	-	-	-
T12	Deel I par. 10.2	Deel II Appendix A	-	-	-	-	-
T13	Deel I par. 10.2	Deel II Appendix A	Deel II Appendix C	-	Deel II par. 4.4	Deel II par. 4.4	Deel II Appendix C
T14	Deel I par. 10.2	Deel II Appendix A	-	-	Deel II par. 4.4	Deel II par. 4.4	-

Tabel 17. Overzicht onderzochte toestanden en de aard van de daar in verrichte metingen (met verwijzing naar de verslagdelen waarin een en ander wordt behandeld).

T1. In deze situatie zijn de bovenstroomse pylonen in bovenstroomse richting 50 m opgeschoven en is de Wijkse kom in bovenstroomse richting 50 m vergroot. Deze oplossing lijkt morfologisch op bezwaren te stuiten door de asymmetrische vorm. Daarom is deze toestand niet in het morfologisch model onderzocht en vonden voor deze situatie slechts enkele oriënterende proefvaarten plaats.

T2. In deze situatie zijn de bovenstroomse pylonen ingekort, met aanpassing van de bovenstroomse oevers, waardoor de breedte tussen de pylonen 108 m wordt. In deze situatie zijn de neersnelheden gemeten en de uitwisselingspercentages bepaald.

T3. Deze situatie gaat uit van T2, maar ook de benedenstroomse pylonen zijn met 15 m ingekort en de voorhavens zijn verruimd. In deze situatie zijn de neersnelheden gemeten en de uitwisselingspercentages bepaald.

T4. Deze situatie verschilt alleen van T3, doordat de benedenstroomse pylonen geheel zijn weggenomen. In deze situatie zijn alleen de neersnelheden gemeten.

T5. Deze situatie verschilt alleen van T3, doordat de instroombreedte tussen de bovenstroomse pylonen is verkleind tot 95 m door verdikking van de pylonen. In deze situatie zijn alleen de neersnelheden gemeten.

T6 en T9. In deze situaties zijn de bovenstroomse pylonen 60 m in bovenstroomse richting verschoven. De instroombreedte tussen deze pylonen bedraagt 95 m. De bovenstroomse oevers van de kommen zijn 50 m in bovenstroomse richting verlegd. De benedenstroomse pylonen zijn 15 m ingekort. De voorhavens zijn verruimd zoals in toestand T3. In deze toestanden zijn de neersnelheden en de uitwisselingspercentages bepaald.

T7 en T8. Deze situaties zijn identiek aan T6. De benedenstroomse pylonen zijn echter overeenkomstig de huidige prototypesituatie. In deze toestanden zijn alleen de neersnelheden bepaald.

T10. Deze situatie is wat de pylonen betreft dezelfde als T0. Alleen de voorhavens zijn verruimd. In deze toestand zijn alleen de neersnelheden gemeten. Wegens de geringe verschillen met toestand T0 is deze situatie niet onderzocht in het morfologische model.

T11. Deze situatie is identiek aan toestand T10. De verlegging van de oostelijke oever van de Ravenswaayse voorhavens is echter verricht volgens tekening no. 69.2 R.W.S. Directie Utrecht. In deze toestand zijn alleen de

neersnelheden gemeten. Wegens de geringe verschillen met toestand T0 is deze situatie niet onderzocht in het morfologische model.

T12. In deze situatie zijn de voorhavens verruimd, waarbij een wachtplaats is ingericht aan de "Wijkse" kant aan de westelijke oever. Tevens zijn de bovenstroomse pylonen zodanig ingekort, dat een instroombreedte ontstaat van 95 m. In deze toestand zijn de neersnelheden gemeten. Tevens zijn enkele vaarproeven verricht met het motorschip en de duweenheid om na te gaan of het mogelijk was om ter plaatse van de wachtplaats stil te blijven liggen door alleen gebruik te maken van de schroeven en het roer. Voor het motorschip leverde dit geen bezwaren op. Bij de duweenheid bleek, dat dit bijzonder moeilijk was. Het was bijna niet te vermijden, dat de boeg van het schip in de neer van de kom kwam te liggen, waardoor een oncontroleerbare situatie ontstond. De situatie T12 is niet onderzocht in het morfologische model.

T13 en T14. Deze toestanden zijn bijna dezelfde als T12. Omdat in T12 bleek, dat het voor een duweenheid praktisch onmogelijk was om voldoende lang stil te blijven liggen in de wachtplaats, is plaatselijk aan de westelijke oever van de Wijkse kom een grotere kromming gegeven om een beter stroombeeld te verkrijgen. In deze situaties zijn de neersnelheden en de uitwisselingspercentages gemeten. Tevens zijn er vaarproeven verricht zoals in toestand T12. Het stroombeeld was in deze situaties zodanig verbeterd, dat ook het stilliggen van een duweenheid in de wachtplaats geen grote moeilijkheden meer opleverde.

Slechts in de toestand T0 zijn uitgebreide vaarproeven verricht. Door de grote spreiding in de meetresultaten is het niet zinvol geacht om dezelfde proeven te herhalen in de andere situaties. Significante verschillen zouden niet ontdekt zijn.

Wel zijn enkele vaarproeven verricht in de situaties met verbrede voorhavens om na te gaan in hoeverre deze ruimtevermeerderingen zinvol zijn.

### 10.3. Invloed van de veranderingen op de scheepvaart

De invloed van snelheidsreducties ten gevolge van een verbreding tussen de bovenstroomse pylonen en het wegbaggeren van vaste lagen op de kruising kan worden afgeleid uit de figuren 40 en 42 (10 %-lijn). Er is, om een vergelijking met de oorspronkelijke toestand (T0) mogelijk te maken, uitgegaan van de veronderstellingen uit hoofdstuk 8.



In onderstaande tabellen 18 en 19 is de berekende invloed op de vaarbreedten voor verschillende snelheidsreducties gegeven. Een en ander voor een rivierdebiet van  $825 \text{ m}^3/\text{s}$ .

$v_s$ m/s	$v_w$ m/s	$B_d$ (m)	$B_t$ (m)		Resterende (c.q. voor motorschip beschikbare) breedte (m)	
			W-R	R-W	W-R	R-W
2,5	1,57	71	164	144	100	120
	1,41 (10 %)	60	153	133	111	131
	1,25 (20 %)	51	144	124	120	140
	1,10 (30 %)	43	136	116	128	148
2,3	1,57	80	173	153	91	111
	1,41 (10 %)	68	161	141	103	123
	1,26 (20 %)	59	152	132	112	132
	1,10 (30 %)	49	142	122	122	142
2,0	1,57	101	194	174	70	90
	1,41 (10 %)	84	177	157	87	107
	1,26 (20 %)	70	163	143	101	121
	1,10 (30 %)	59	152	132	112	132

(Opm: De tussen haakjes vermelde percentages geven de snelheidsreductie weer.)

Tabel 18. Invloed stroomsnelheid op  $B_d$  en  $B_t$  voor duweenheid

Uit het bovenstaande blijkt dat, uitgaande van de gemaakte veronderstellingen, toch zeker een snelheidsverlaging van 30 % nodig is om een redelijke veiligheidsstrook tussen de overstekende schepen te handhaven.

In de tabellen 18 en 19 is aangenomen dat de snelheidsreductie over het gehele riviergedeelte tussen de boven- en benedenstroomse pylonen optreedt. Daar echter slechts in het bovenstroomse gedeelte van de kruising wijzigingen zijn aangebracht, zal alleen daar deze reductie optreden.

$v_s$ m/s	$v_w$ m/s	$B_d$ m	$B_t$ (m)	
			W-R	R-W
3,0	1,57	54	114	104
	1,41 (10 %)	48	108	98
	1,26 (20 %)	41	101	91
	1,10 (30 %)	35	95	85
2,7	1,57	63	123	113
	1,41 (10 %)	54	114	104
	1,26 (20 %)	47	107	97
	1,10 (30 %)	39	99	89

Tabel 19. Invloed stroomsnelheid op  $B_d$  en  $B_t$  voor motorschip

Voor een vergroting van de afstand tussen de boven- en benedenstroomse pylonen (bij  $Q = 825 \text{ m}^3/\text{s}$ ) is een vergelijking gemaakt met betrekking tot de ruimte op de kruising voor de toestanden T0 en T6 (breedten tussen de boven- en benedenstroomse pylonen respectievelijk 264 en 399 m), waarbij is uitgegaan van figuur 40 (10 %-lijn) en de veronderstellingen van hoofdstuk 8.

$v_s$ m/s	$B_d$ (m)	$B_t$ (m)		Resterende breedte			
		W-R	R-W	W-R		R-W	
				T0	T6	T0	T6
2,5	71	164	144	100	175	120	195
2,3	80	173	153	91	166	111	186
2,0	101	194	174	70	145	90	165

Tabel 20. Invloed verruiming kruising op resterende breedte

$v_s$ (m/s)	$B_d$ (m)	$B_t$ (m)	
		W-R	R-W
3,0	54	114	104
2,7	63	123	113

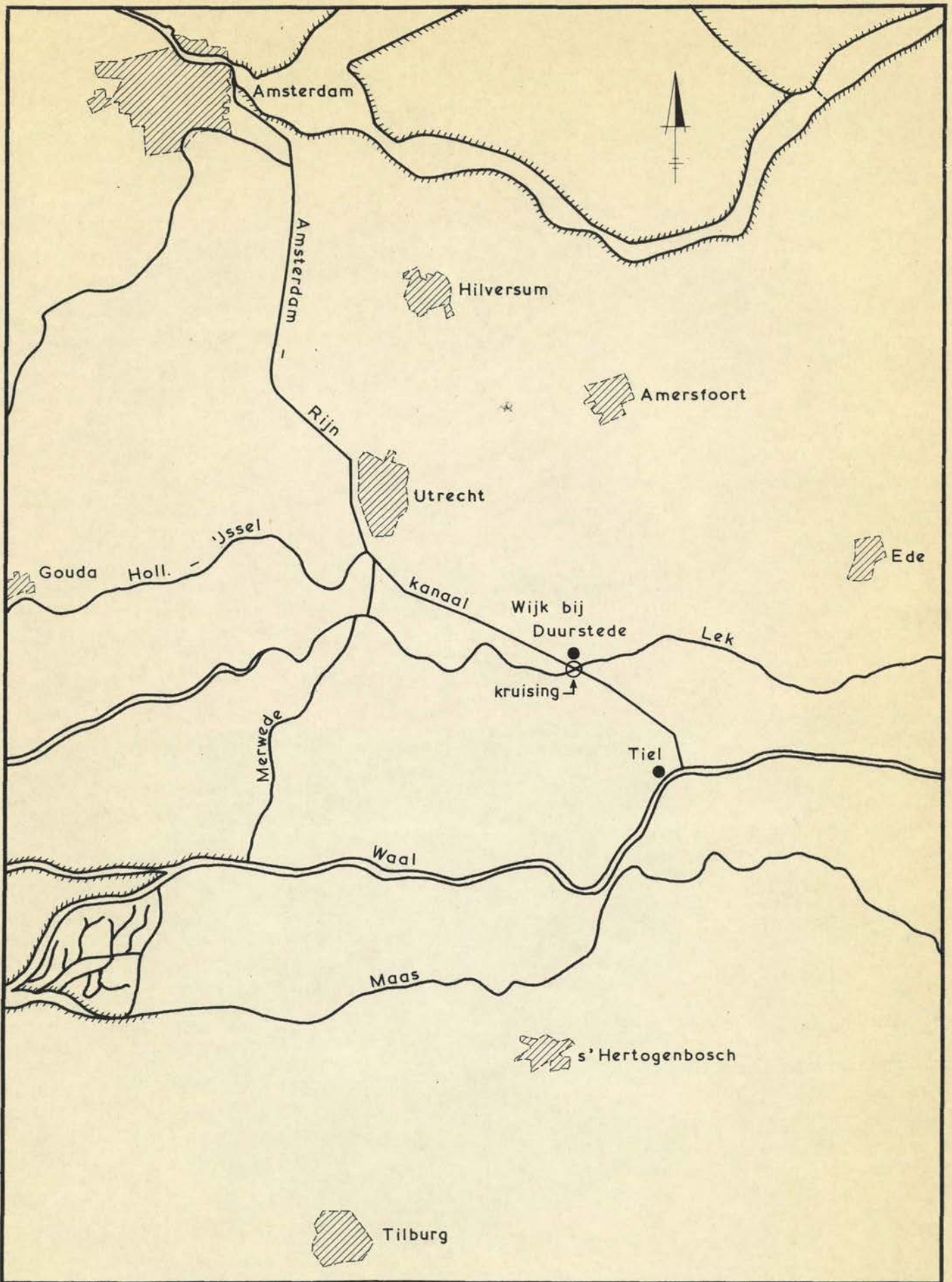
Tabel 21. Door motorschip in beslag genomen ruimte

Uit de tabellen 20 en 21 volgt dat bij een ontmoeting van een duweenheid en een motorschip (die een vaarsnelheid hebben van respectievelijk 2,0 en 2,7 m/s) er in toestand T6 een veiligheidsstrook van 30 à 40 m overblijft. Hierbij moet het volgende worden opgemerkt. Voor de afstand tot de benedenstroomse pylonen ( $A_p$ ) is voor de toestanden T0 en T6 dezelfde waarde aangehouden. De mogelijkheid bestaat, dat door de ruimtevergroting ook deze afstand zal toenemen. Uit de modelproeven kunnen ten aanzien hiervan geen conclusies worden getrokken.

De verbredingen in de voorhavens hebben een gunstig effect op de veilige afwikkeling van het scheepvaartverkeer. Bovendien is er dan voldoende ruimte aanwezig voor wachtende en tegemoetkomende schepen als de duweenheid de voorhavens invaart. Dit is gebleken uit een serie proefvaarten bij de toestanden met verruimde voorhavens.

## LITERATUUR

1. Waterloopkundig Laboratorium, "Verslag van twee modelproeven in verband met de kruising van het kanaal van Amsterdam naar de Bovenrijn met de Lek". M9 en M46. Delft, november 1936.
2. Waterloopkundig Laboratorium, "Verslag van het derde modelonderzoek in verband met de kruising van het kanaal van Amsterdam naar de Bovenrijn met de Lek". M104. Delft, 1939.
3. Rijkswaterstaat, Directie Bovenrivieren, Afdeling Studiedienst, "Rivierkruising te Wijk bij Duurstede. Onderzoek naar water en slibbeweging". Nota nr. 55.20. Arnhem, oktober 1956.
4. Tanner, J.C., "The delay to pedestrians crossing a road", *Biometrika* 39, 3/4, 1951.



OVERZICHT SITUATIE

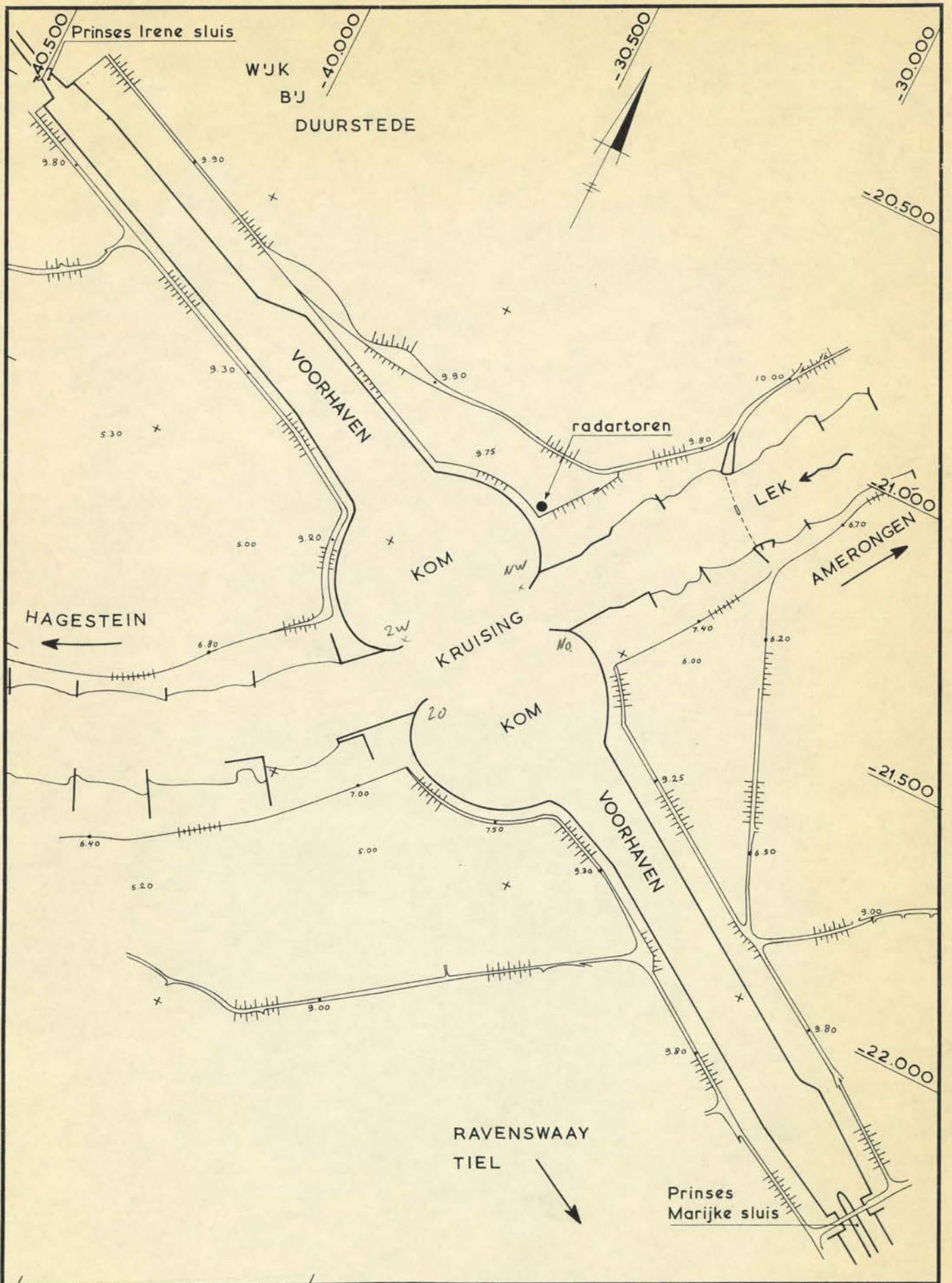
DEEL I

SCHAAL 1:400.000

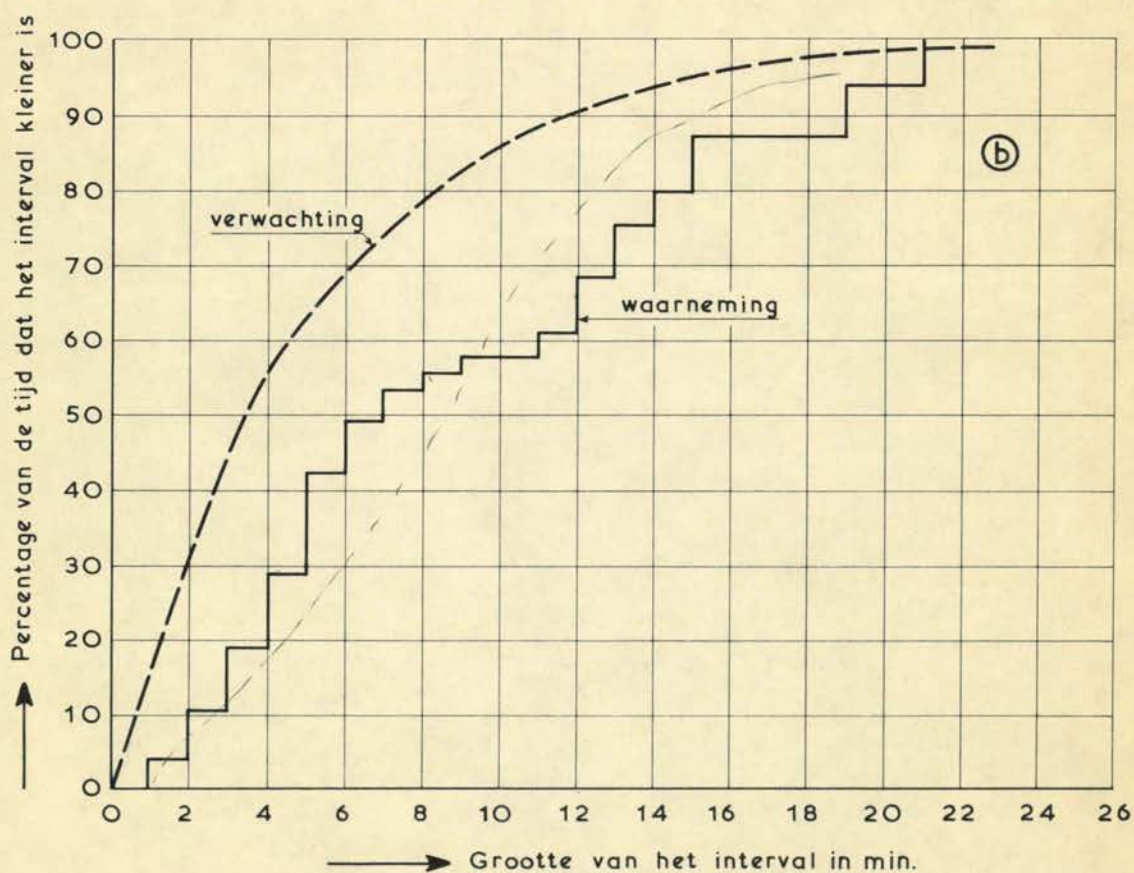
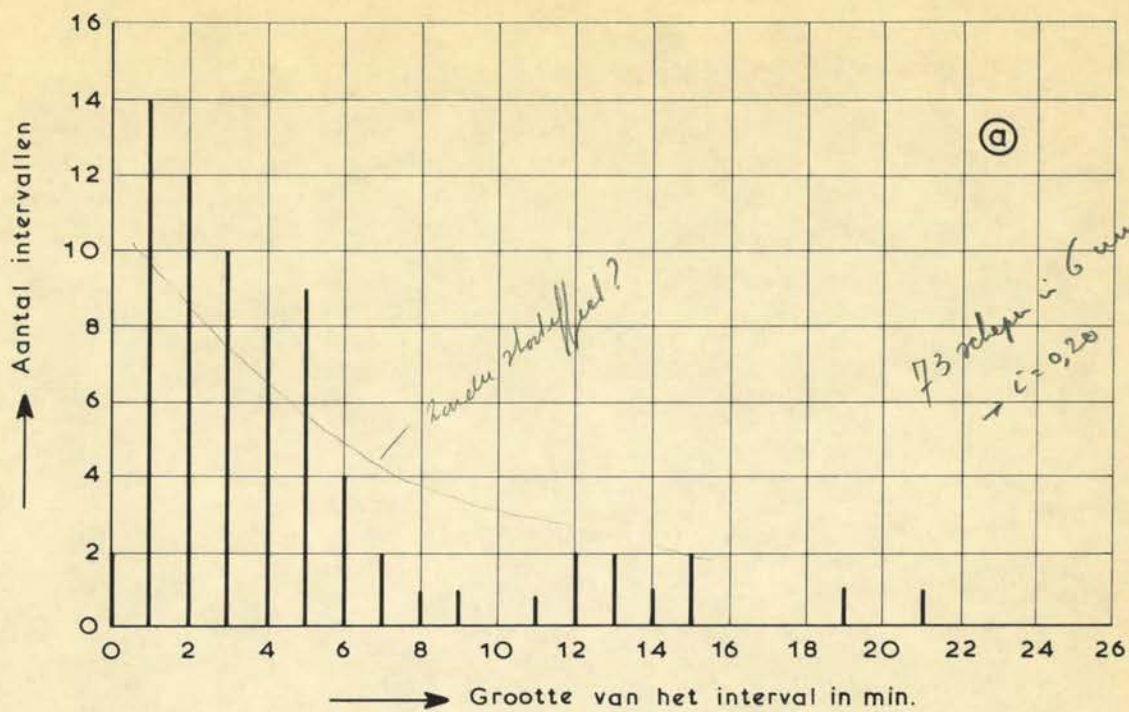
WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M. 974/975

FIG. 1



SITUATIE KRUISSING	DEEL I
	SCHAAL 1:10.000
WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM	M.974/975 FIG. 2



5-1-1968 Waarnemingsperiode 8.30 - 14.30 u (betreft opvaart + afvaart = 74 schepen)

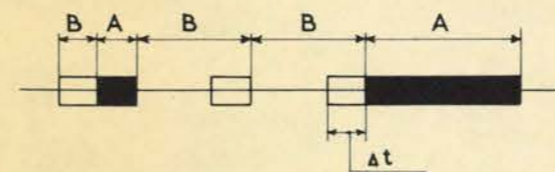
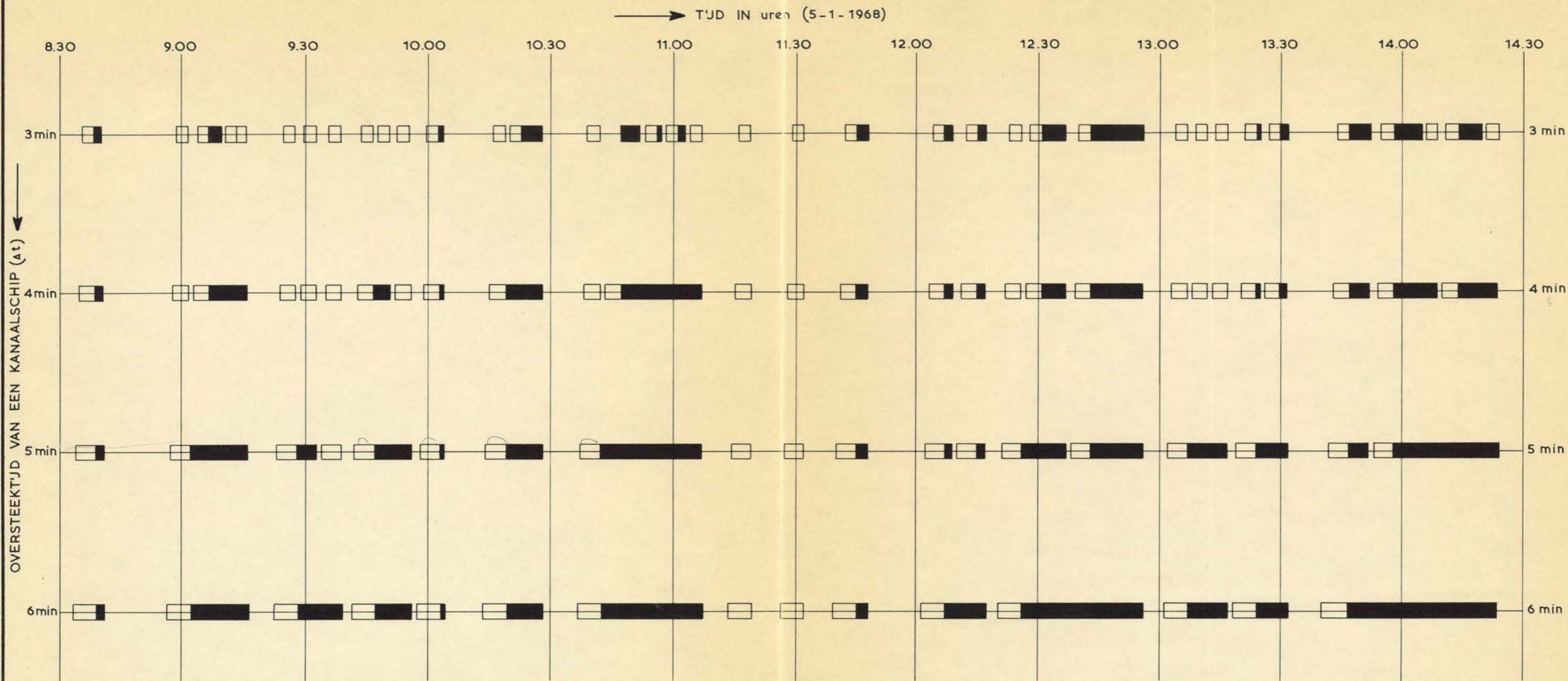
SCHEEPSWAARNEMINGEN STUW AMERONGEN  
 (tijdsintervallen tussen de opeenvolgende passages)

DEEL I

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M.974/975

FIG. 3

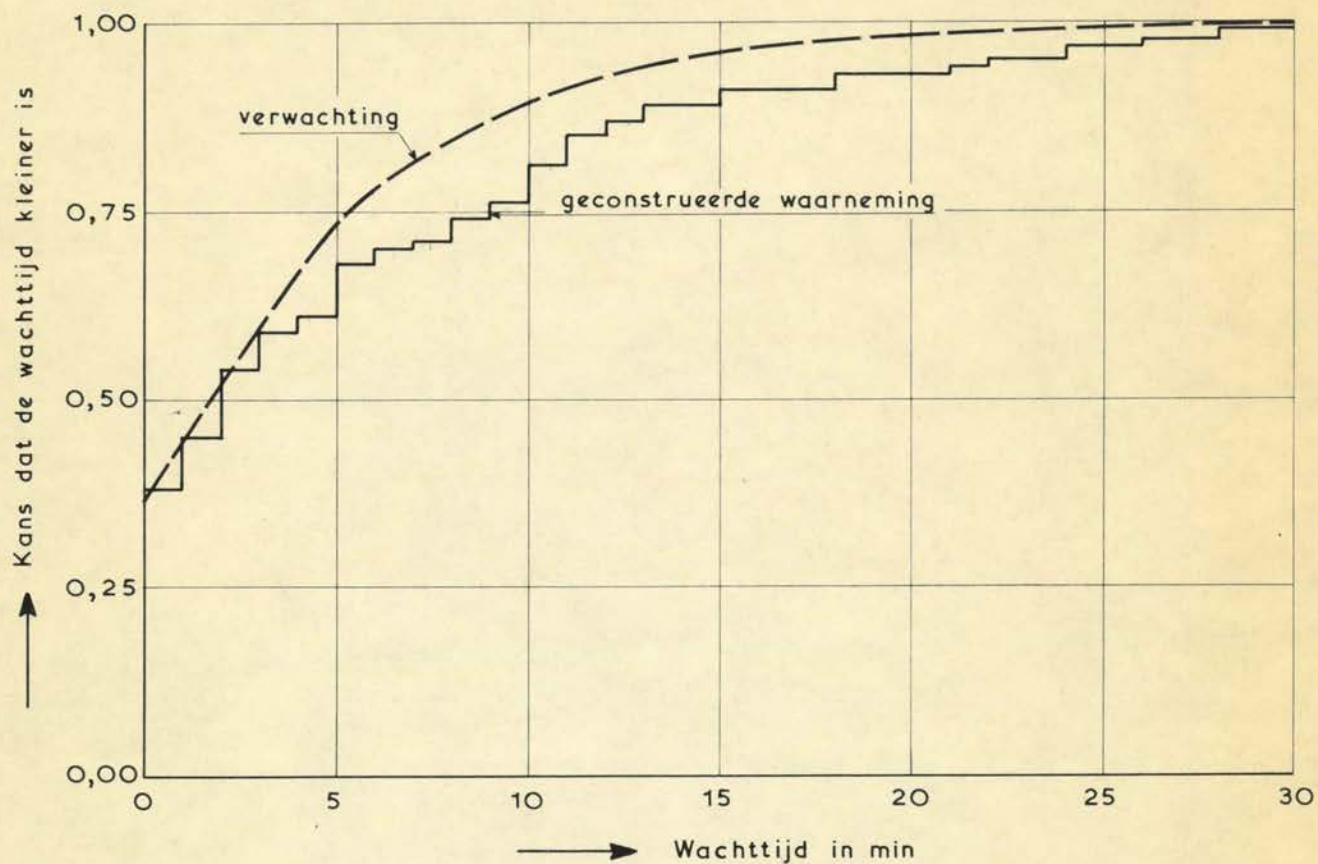


A : Tijdsinterval waarin de kanaalvaart niet kan oversteken.  
 B : Tijdsinterval waarin de kanaalvaart wel kan oversteken.  
 $\Delta t$  : Oversteektijd van een kanaalschip.

Voor de verdeling van de riviervaart is de waarneming bij Amerongen aangehouden.

TJDSINTERVALLEN WAARIN DE KANAAL - VAART AL DAN NIET KAN OVERSTEKEN	DEEL I	
	WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM	M. 974/975 FIG. 4





Verwachting volgens [4]

Geconstrueerde waarneming : riviervaart zie figuur 4  
kanaalvaart aselect

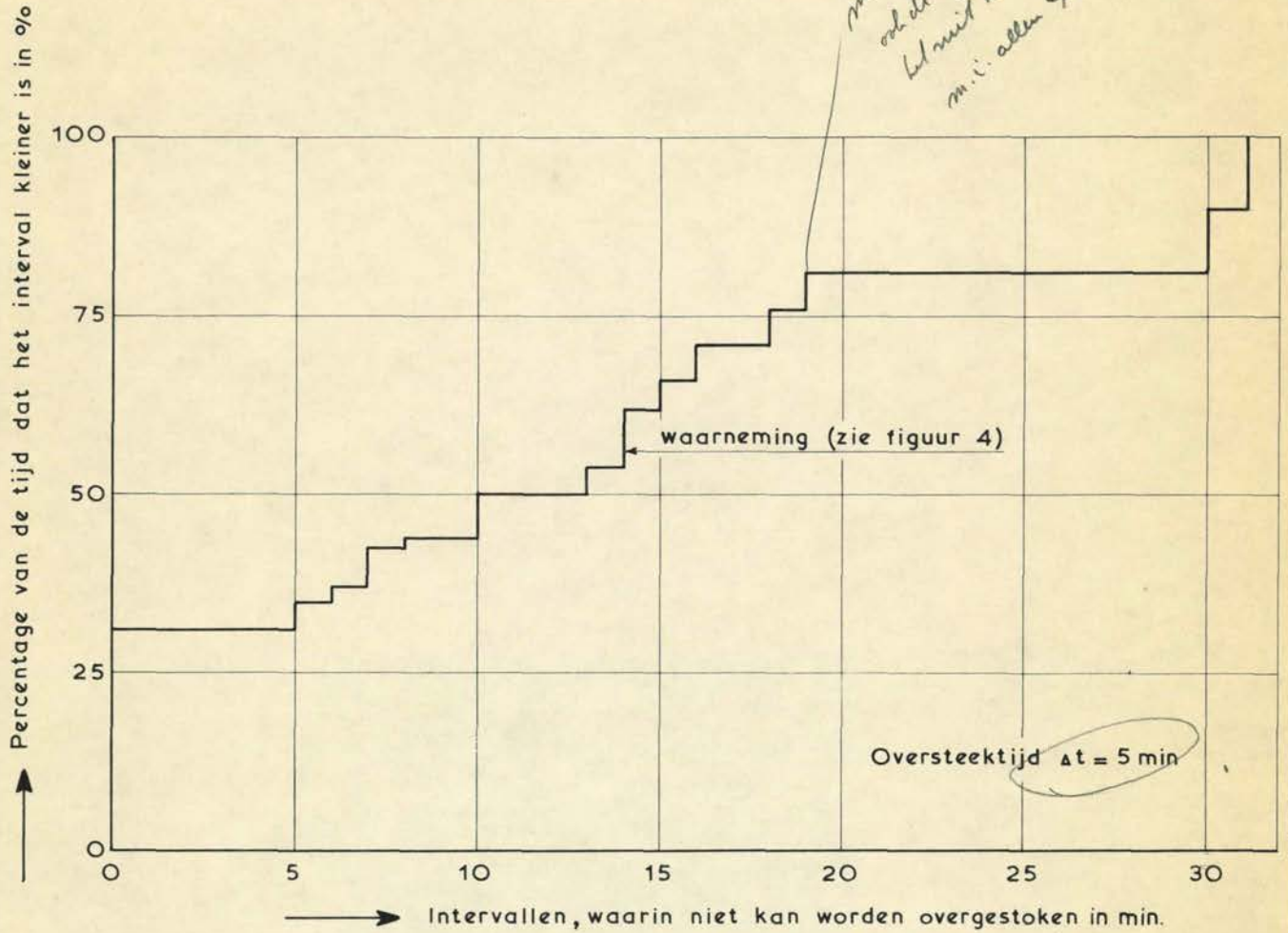
KANSVERDELING VAN DE WACHTTJDEN  
IN EEN DENKBEELDIG GEVAL

DEEL I

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M.974/975

FIG. 5



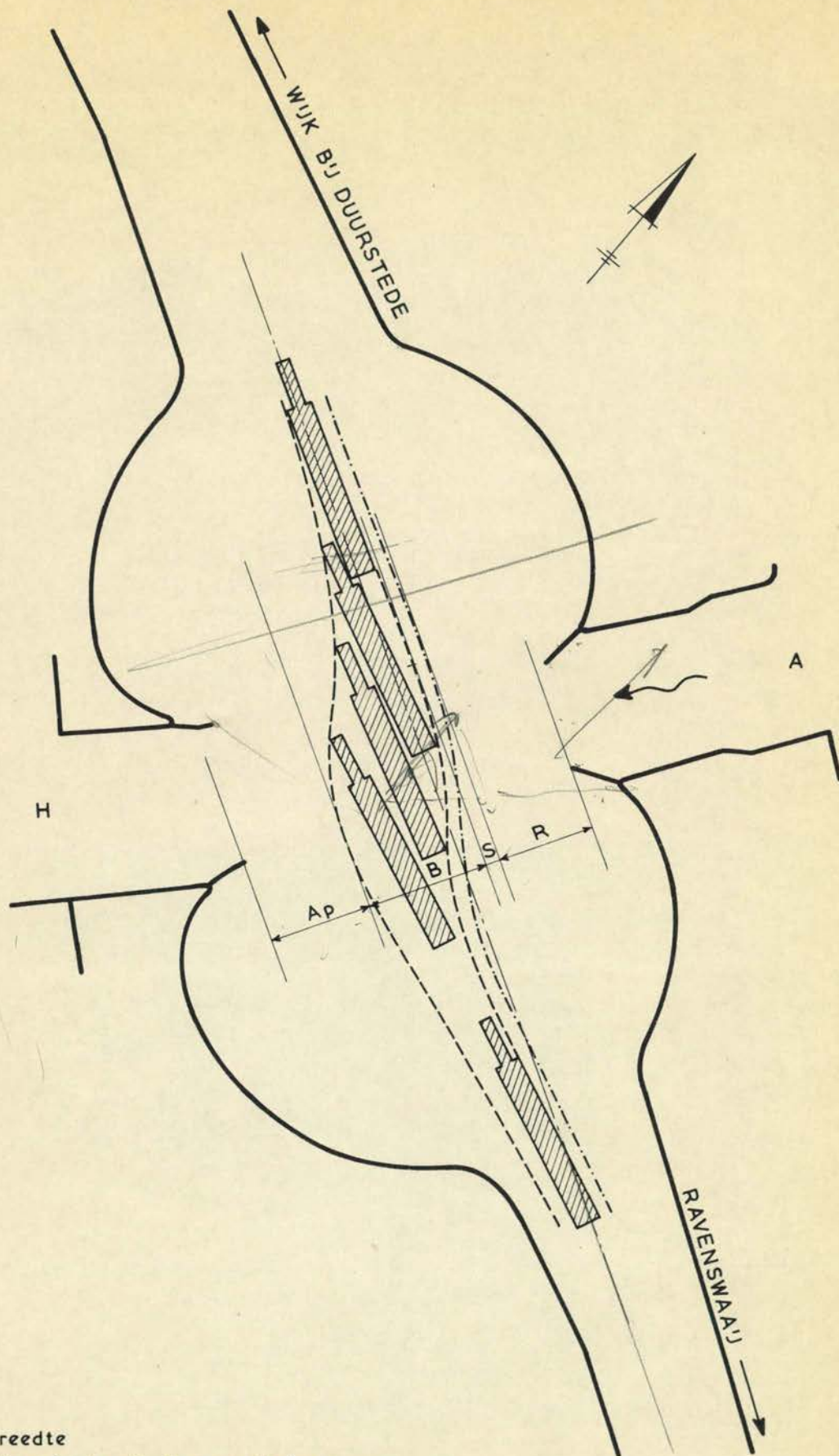
T'JDSINTERVALLEN TUSSEN TWEE OPEENVOLGENDE RIVIERSCHEPEN WAARIN DE KANAALVAART NIET KAN OVERSTEKEN

DEEL I

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M. 974/975

FIG. 6



R: restbreedte  
 S: spreiding in de plaats van de baan  
 Driftbreedte ( $B_d$ ) = baanbreedte (B) - scheepsbreedte (b)

ONDERVERDELING VAN DE TOTALE  
 BREEDTE OP DE KRUISSING

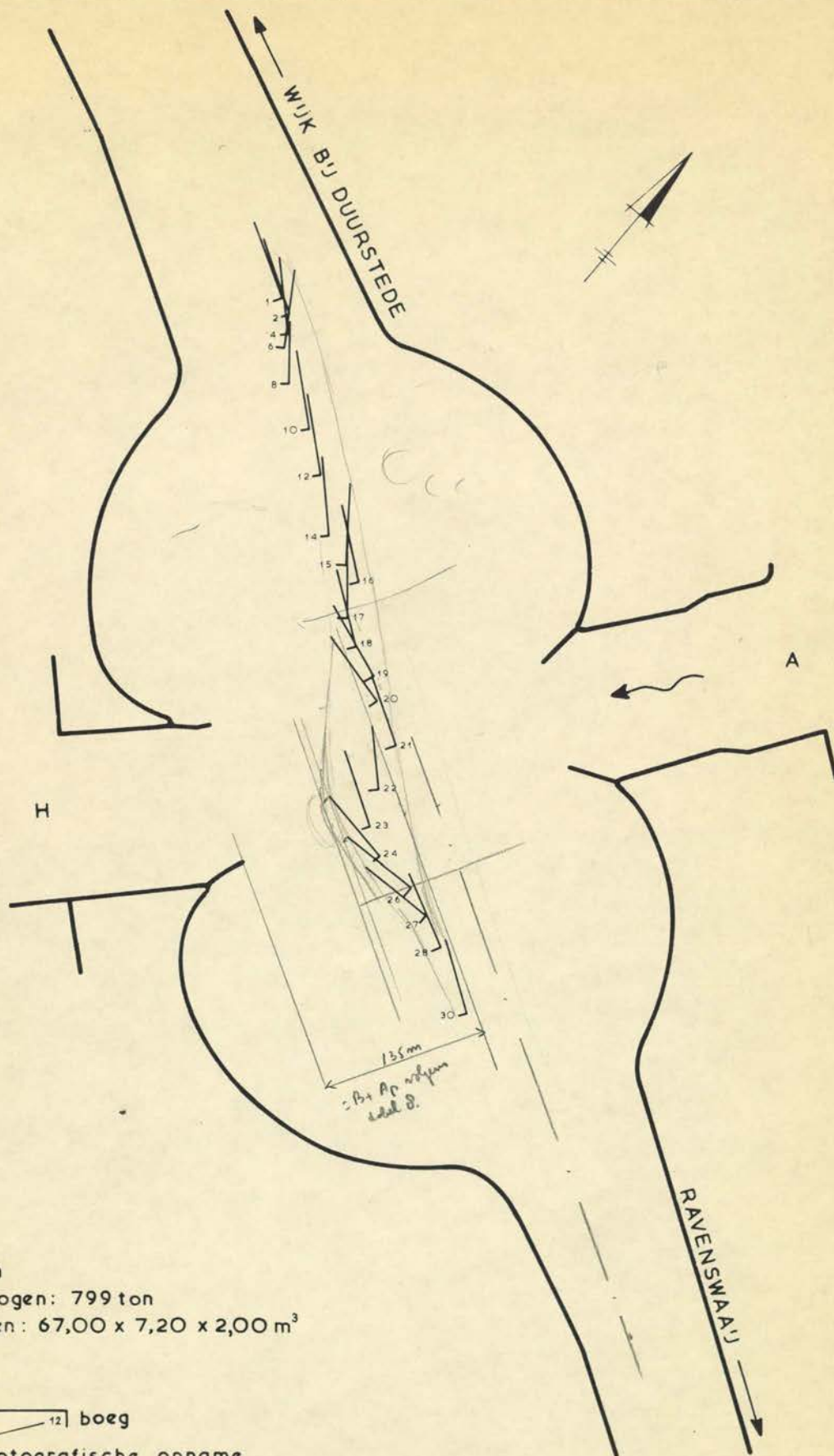
DEEL I

SCHAAL 1:5000

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M. 974/975

FIG. 7



m.s. John  
 Laadvermogen: 799 ton  
 Afmetingen: 67,00 x 7,20 x 2,00 m<sup>3</sup>

12 boeg  
 nr. fotografische opname  
 (interval 10 s)

OVERSTEEK VAN EEN MOTORSCHIP  
 (Prototypemeting 5-1-1968)

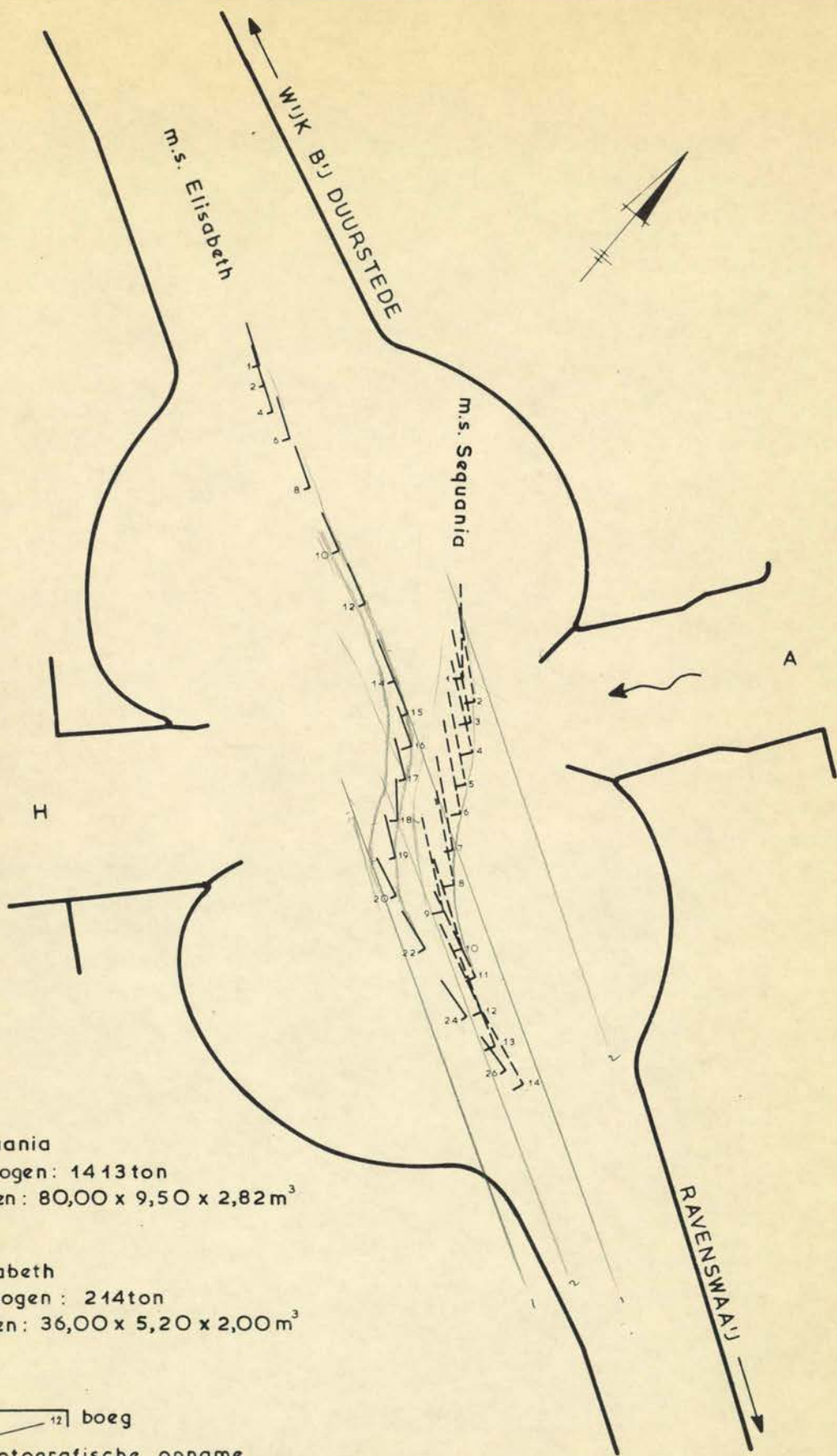
DEEL I

SCHAAL 1:5000

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M. 974/975

FIG. 8



m.s. Sequania  
 Laadvermogen: 1413 ton  
 Afmetingen: 80,00 x 9,50 x 2,82 m<sup>3</sup>

m.s. Elisabeth  
 Laadvermogen: 214 ton  
 Afmetingen: 36,00 x 5,20 x 2,00 m<sup>3</sup>

12 | boeg  
 nr. fotografische opname  
 (interval 10 s)

OVERSTEEK VAN EEN MOTORSCHIP  
 (Prototypemeting 5-1-1968)

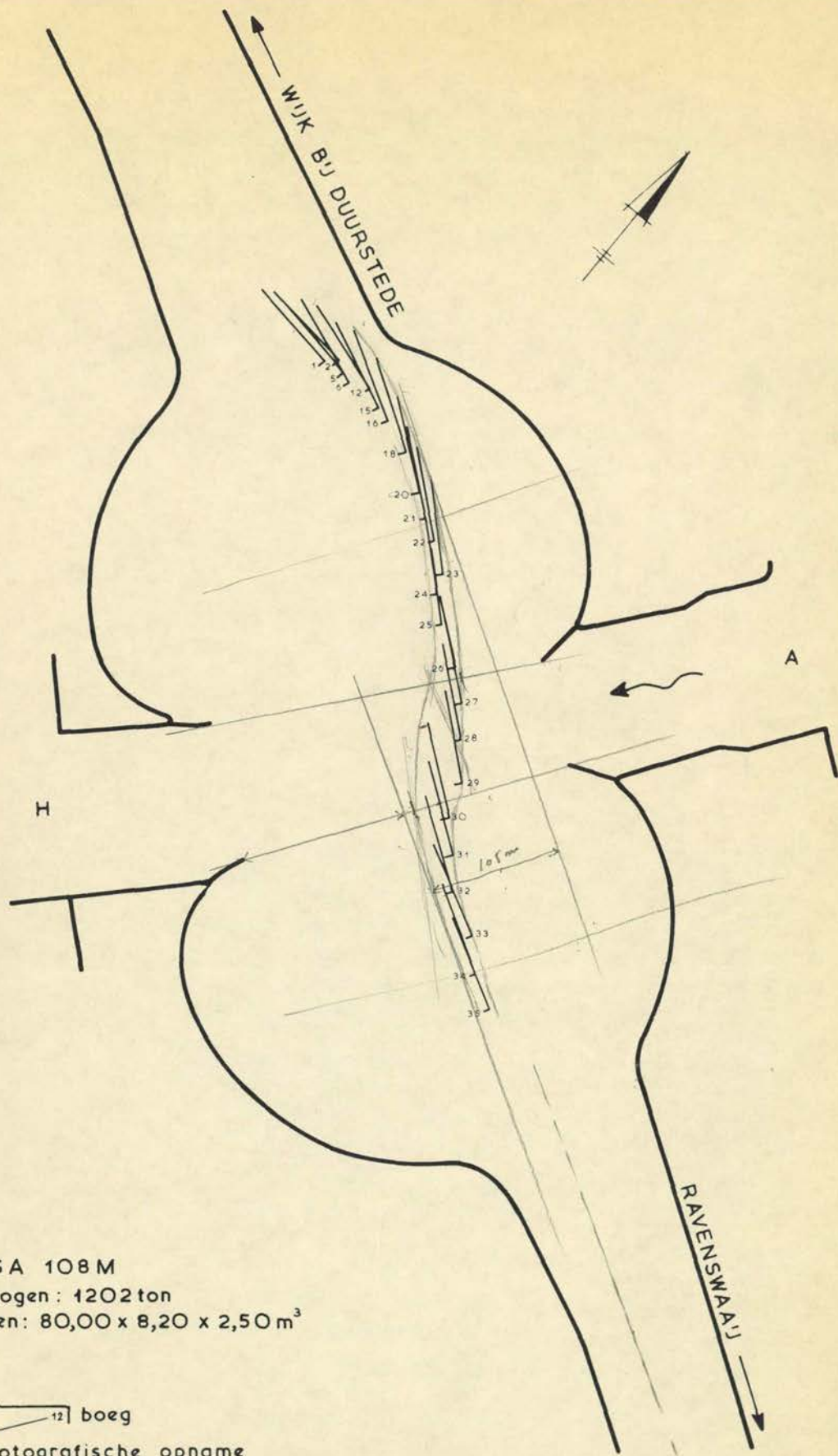
DEEL I

SCHAAL 1:5000

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M. 974/975

FIG. 9



m.s. WTGA 108 M  
 Laadvermogen : 1202 ton  
 Afmetingen : 80,00 x 8,20 x 2,50 m<sup>3</sup>

12 | boeg  
 nr. fotografische opname  
 (interval 10 s)

OVERSTEEK VAN EEN MOTORSCHIP  
 (Prototypemeting 5-1-1968)

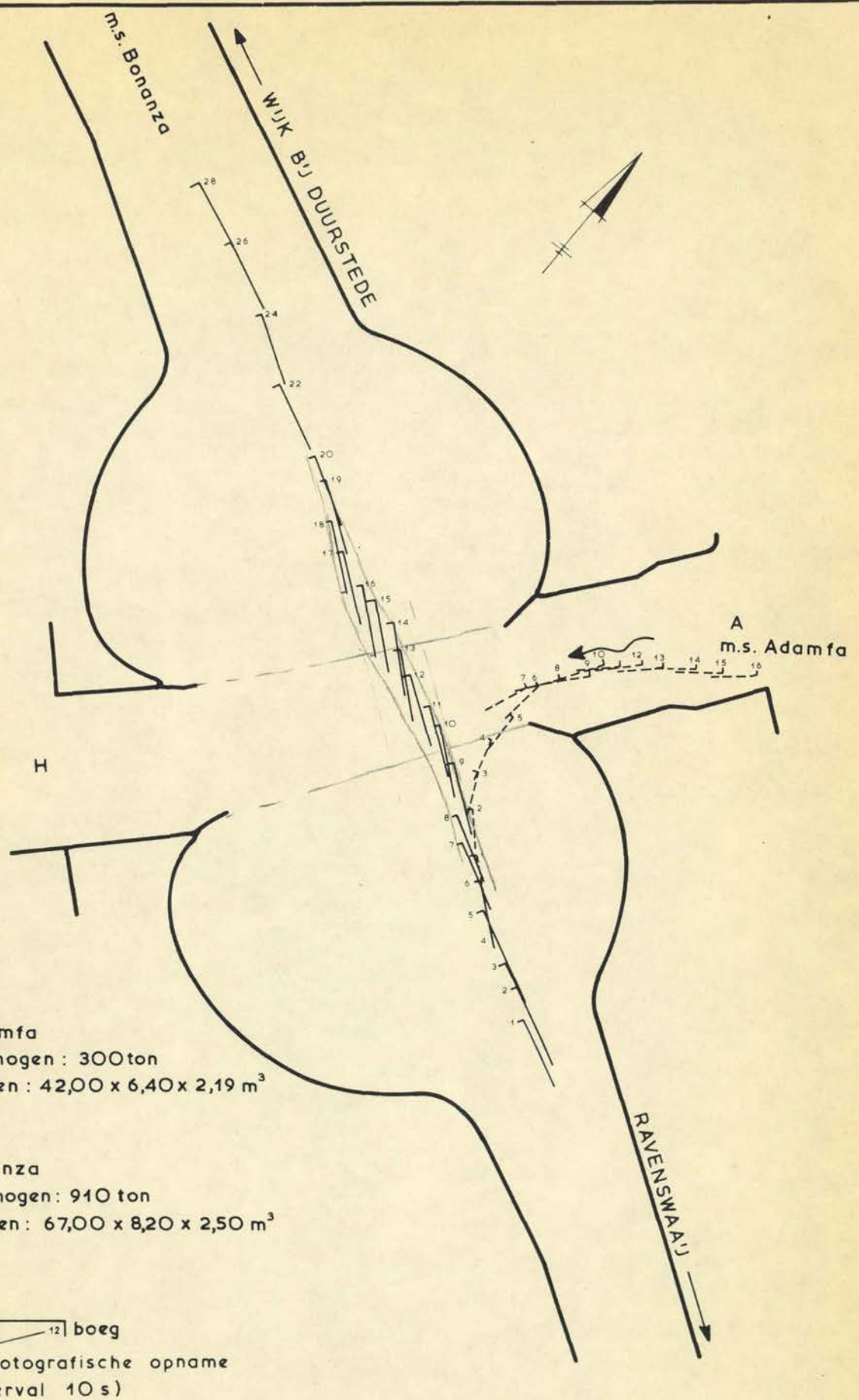
DEEL I

SCHAAL 1:5000

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M. 974/975

FIG. 10



OVERSTEEK VAN EEN MOTORSCHIP  
(Prototypemeting 5-1-1968)

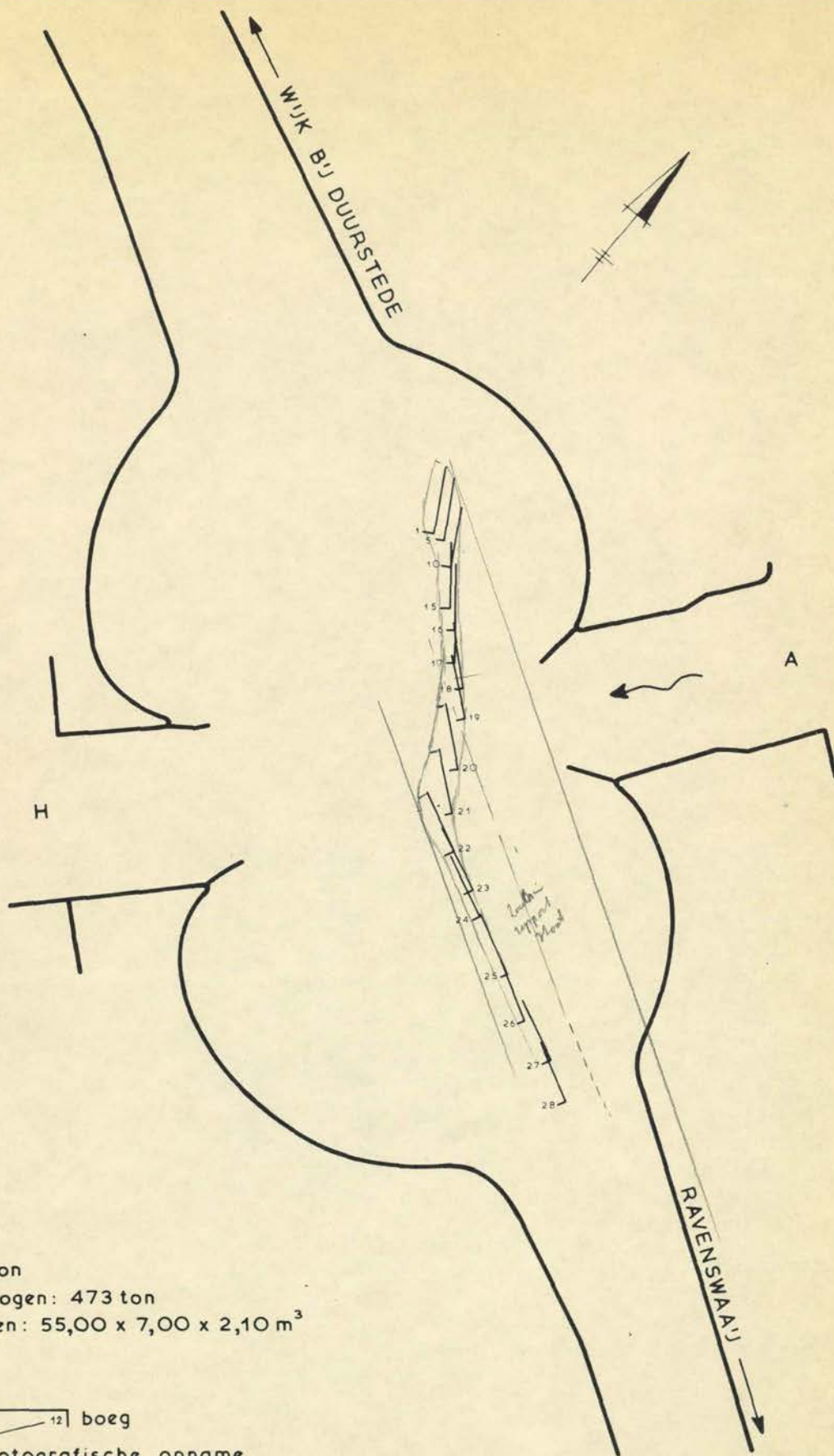
DEEL I

SCHAAL 1:5000

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M. 974/975

FIG. 11



m.s. Manon  
 Laadvermogen: 473 ton  
 Afmetingen: 55,00 x 7,00 x 2,10 m<sup>3</sup>

12 | boeg  
 — nr. fotografische opname  
 (interval 10 s)

OVERSTEEK VAN EEN MOTORSCHIP  
 (Prototypemeting 5-1-1968)

DEEL I

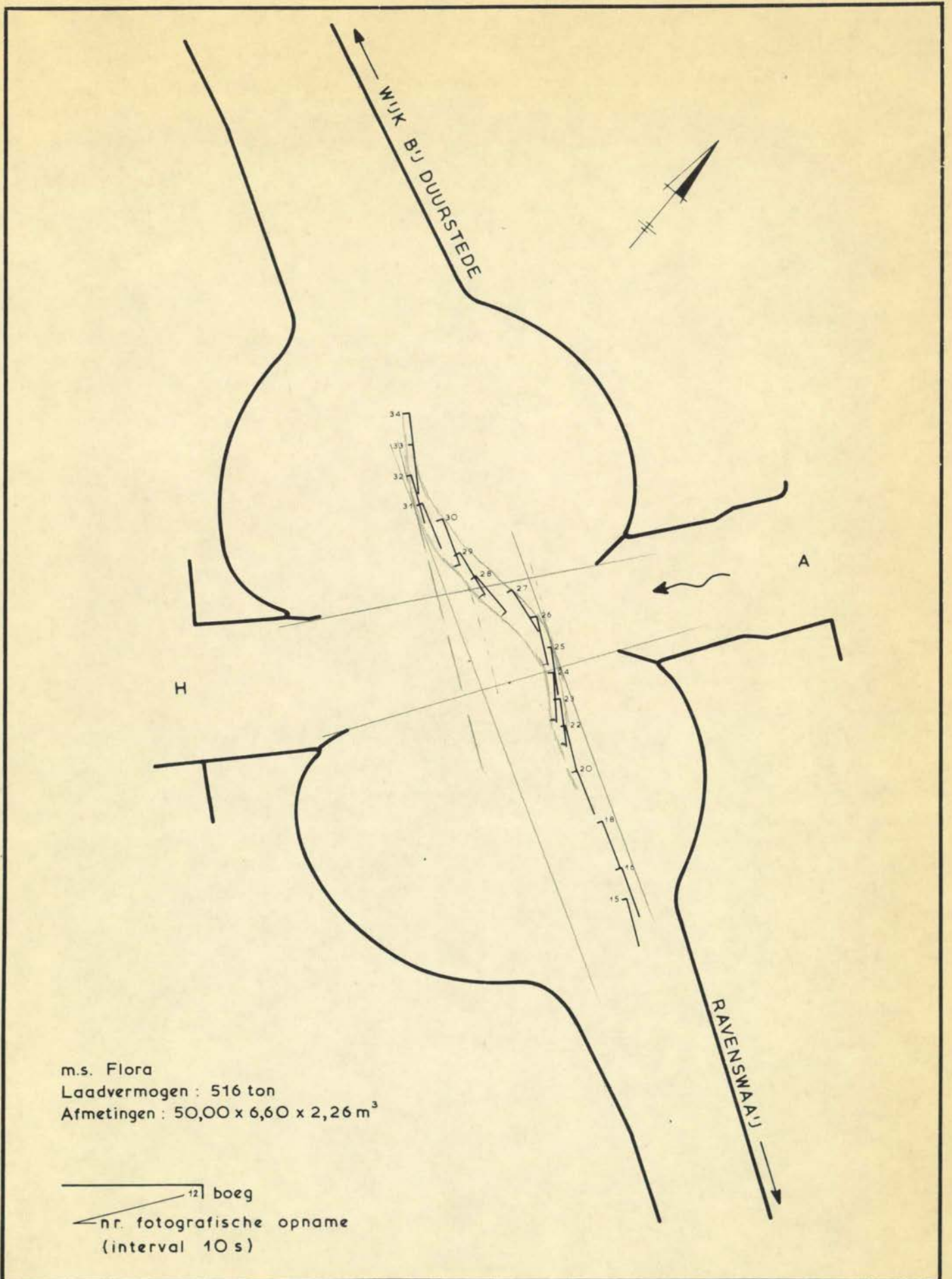
SCHAAL 1:5000

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

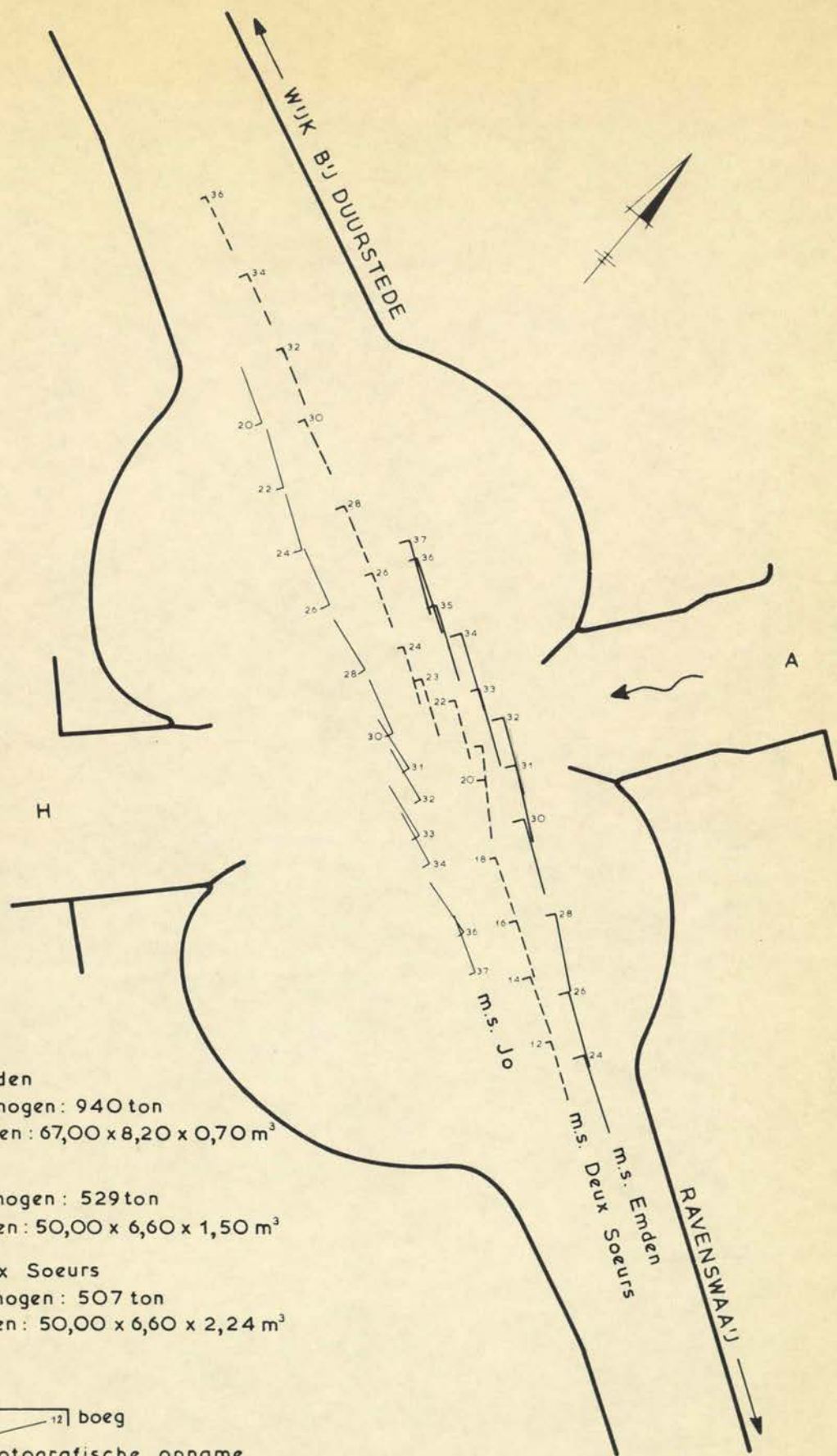
M. 974/975

FIG. 12





OVERSTEEK VAN EEN MOTORSCHIP (Prototypemeting 5-1-1968)	DEEL I	
	SCHAAL 1:5000	
WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM	M. 974/975	FIG. 13



m.s. Emden  
 Laadvermogen: 940 ton  
 Afmetingen: 67,00 x 8,20 x 0,70 m<sup>3</sup>  
 m.s. Jo  
 Laadvermogen: 529 ton  
 Afmetingen: 50,00 x 6,60 x 1,50 m<sup>3</sup>  
 m.s. Deux Soeurs  
 Laadvermogen: 507 ton  
 Afmetingen: 50,00 x 6,60 x 2,24 m<sup>3</sup>

———— 12] boeg  
 ← nr. fotografische opname  
 (interval 10 s)

OVERSTEEK VAN EEN MOTORSCHIP  
 (Prototypemeting 5-1-1968)

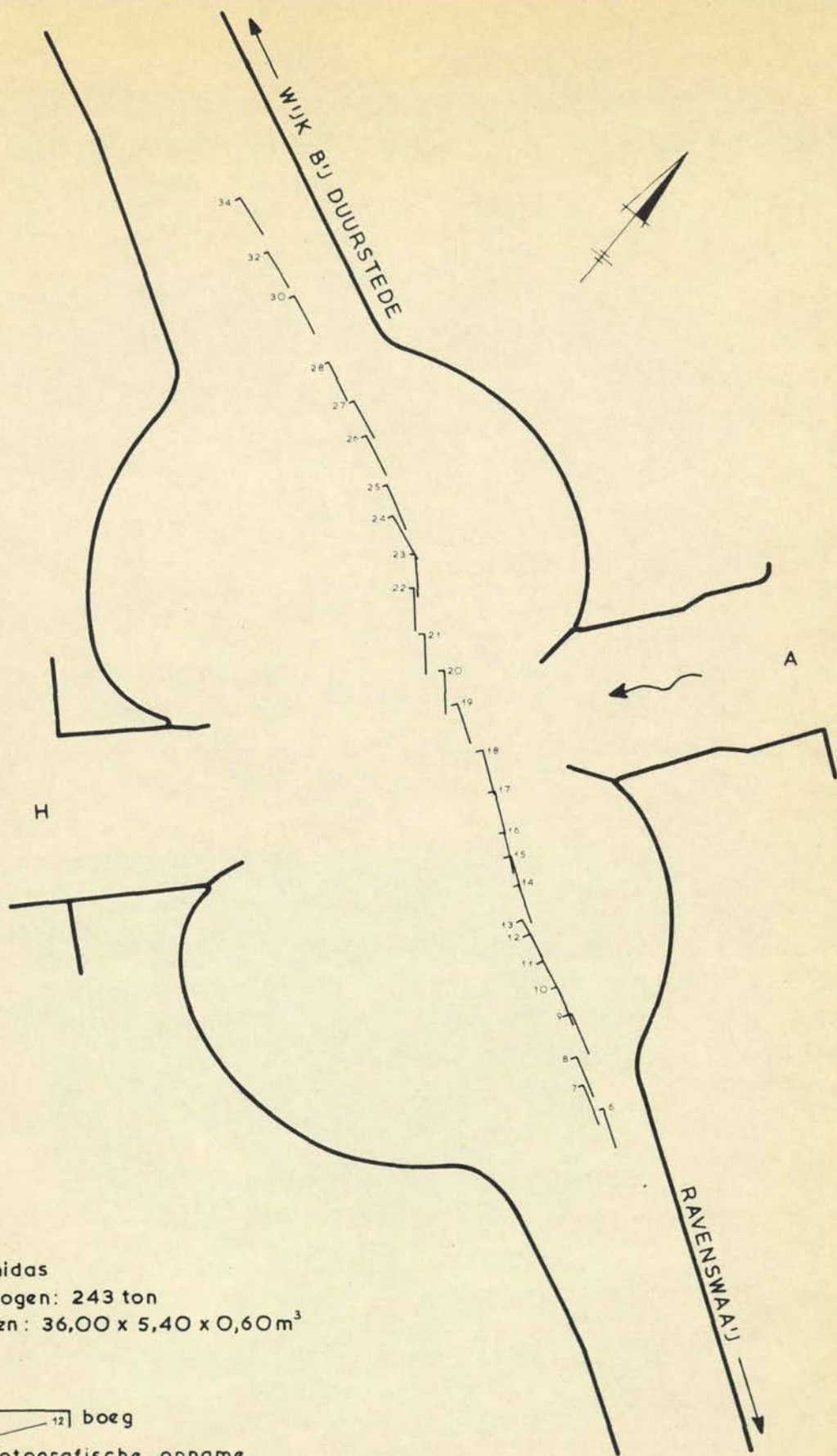
DEEL I

SCHAAL 1:5000

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M. 974/975

FIG. 14



OVERSTEEK VAN EEN MOTORSCHIP  
(Prototypemeting 5-1-1968)

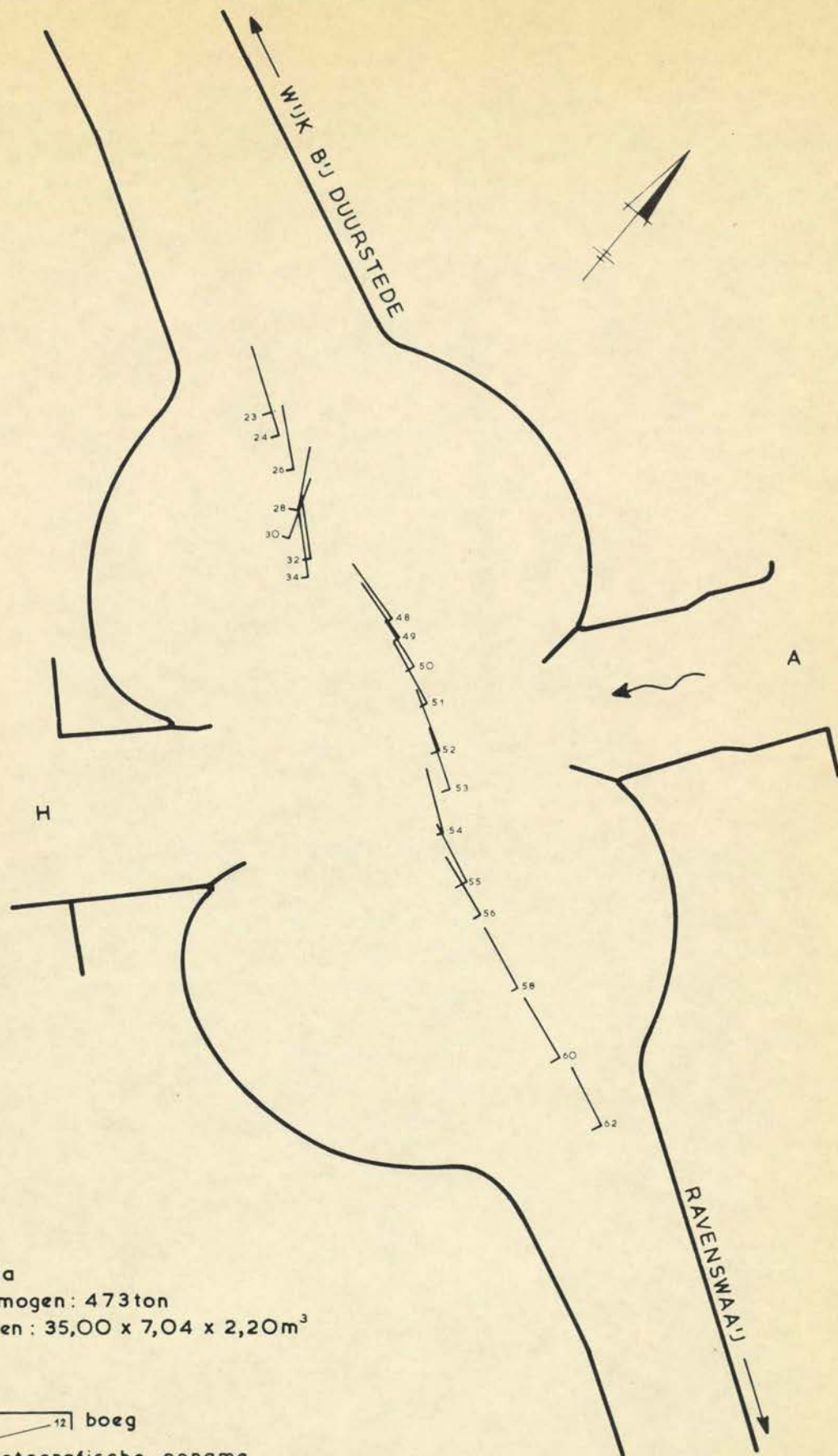
DEEL I

SCHAAL 1:5000

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M. 974/975

FIG. 15



m.s. Anda  
 Laadvermogen : 473 ton  
 Afmetingen : 35,00 x 7,04 x 2,20m<sup>3</sup>

—|<sup>12</sup> boeg  
 ← nr. fotografische opname  
 (interval 10 s)

OVERSTEEK VAN EEN MOTORSCHIP  
 (Prototypemeting 5-1-1968)

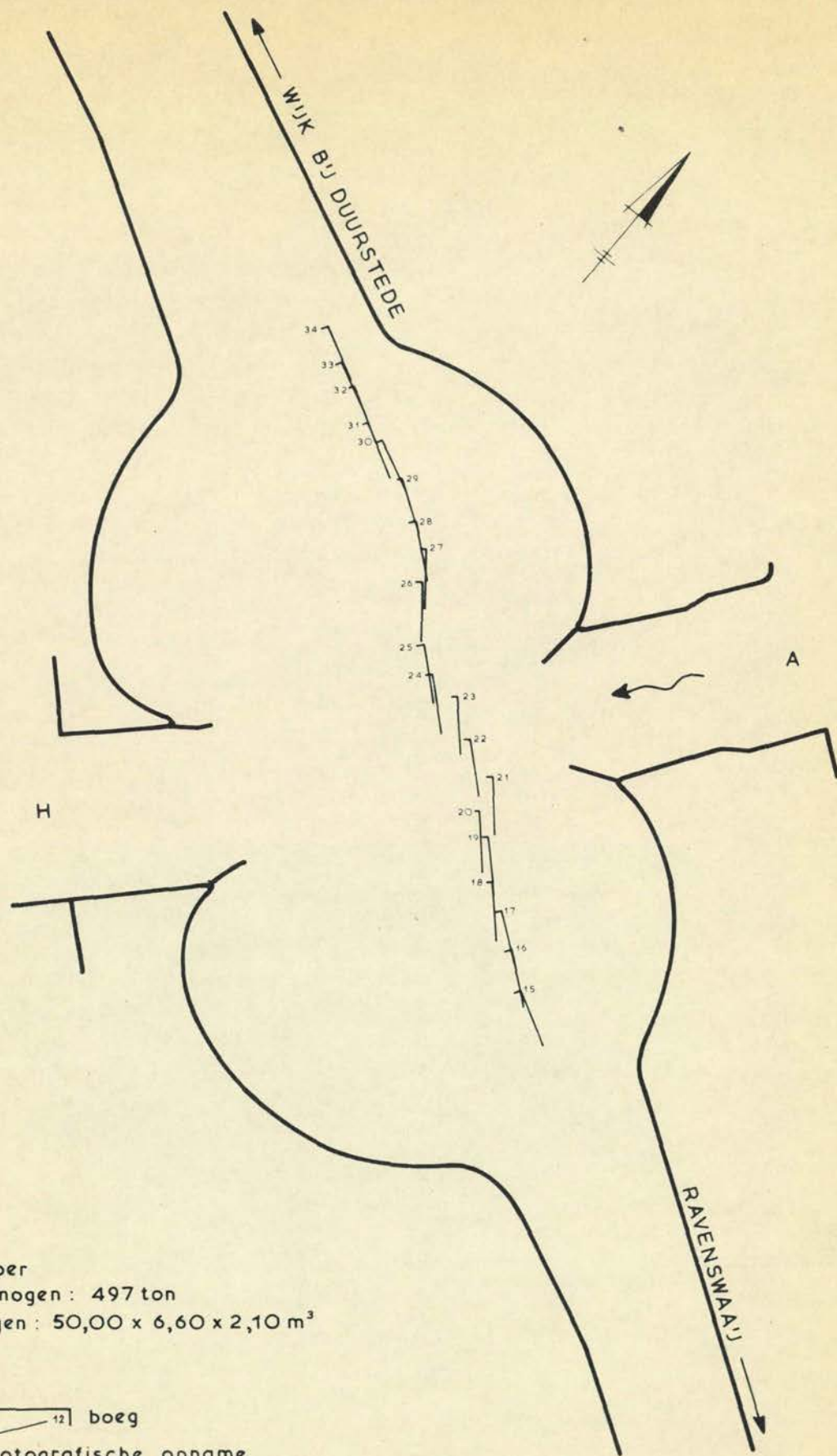
DEEL I

SCHAAL 1:5000

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M. 974/975

FIG. 16



m.s. Topper  
 Laadvermogen : 497 ton  
 Afmetingen : 50,00 x 6,60 x 2,10 m<sup>3</sup>

— boeg  
 — nr. fotografische opname  
 (interval 10 s)

OVERSTEEK VAN EEN MOTORSCHIP  
 (Prototypemeting 5-1-1968)

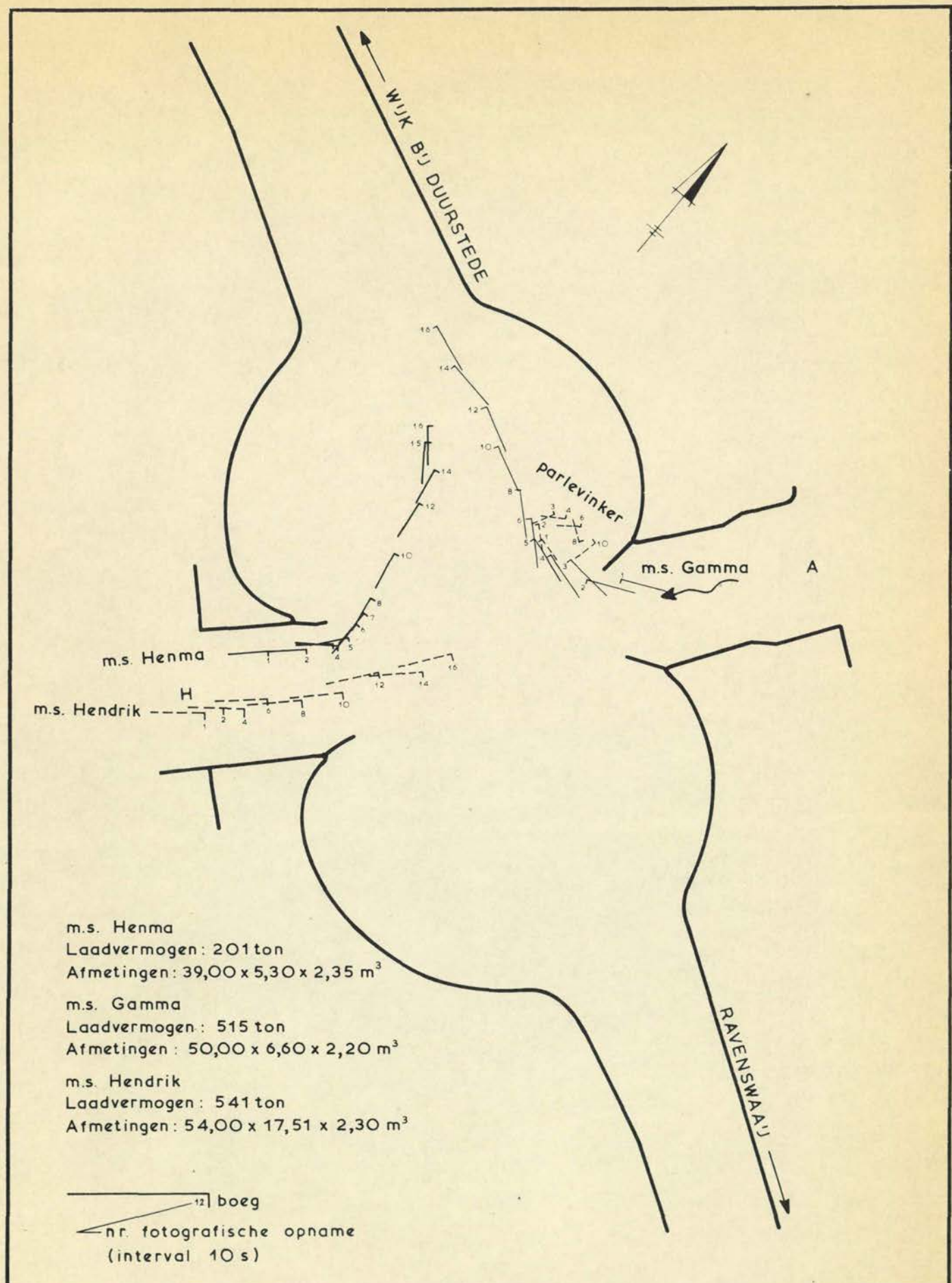
DEEL I

SCHAAL 1:5000

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M. 974/975

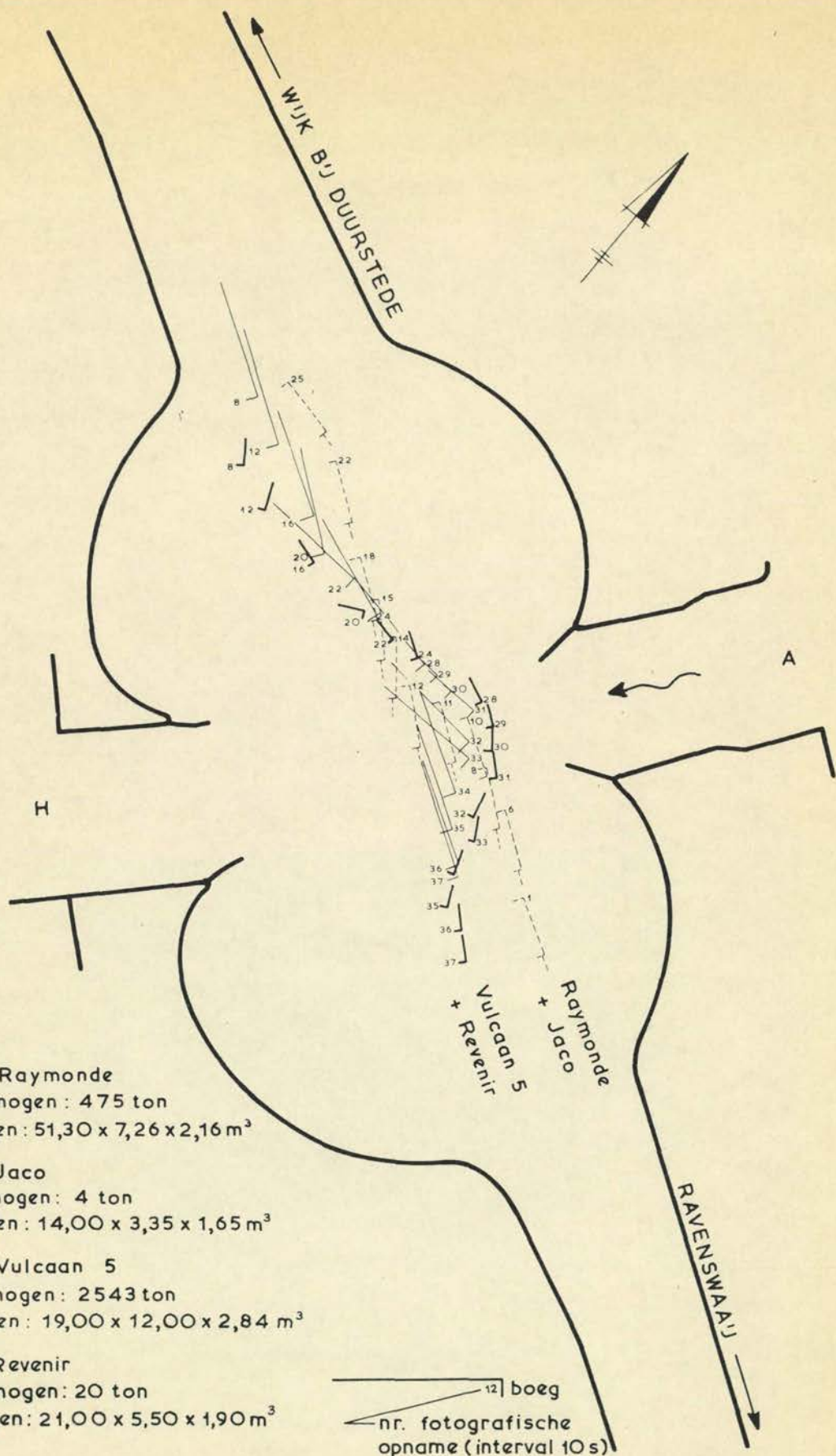
FIG. 17



m.s. Henma  
 Laadvermogen: 201 ton  
 Afmetingen: 39,00 x 5,30 x 2,35 m<sup>3</sup>  
 m.s. Gamma  
 Laadvermogen: 515 ton  
 Afmetingen: 50,00 x 6,60 x 2,20 m<sup>3</sup>  
 m.s. Hendrik  
 Laadvermogen: 541 ton  
 Afmetingen: 54,00 x 17,51 x 2,30 m<sup>3</sup>

———— 12] boeg  
 — nr. fotografische opname  
 (interval 10 s)

VERKEERSITUATIE OP DE KRUISING (Prototypemeting 5-1-1968)	DEEL I
	SCHAAL 1:5000
WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM	M. 974/975 FIG. 18



- sl. schip Raymonde  
Laadvermogen : 475 ton  
Afmetingen : 51,30 x 7,26 x 2,16 m<sup>3</sup>
- sl. boot Jaco  
Laadvermogen : 4 ton  
Afmetingen : 14,00 x 3,35 x 1,65 m<sup>3</sup>
- sl. schip Vulcaan 5  
Laadvermogen : 2543 ton  
Afmetingen : 19,00 x 12,00 x 2,84 m<sup>3</sup>
- sl. boot Revenir  
Laadvermogen : 20 ton  
Afmetingen : 21,00 x 5,50 x 1,90 m<sup>3</sup>

12 boeg  
nr. fotografische opname (interval 10s)

OVERSTEEK VAN EEN SLEEP  
(prototypemeting 5-1-1968)

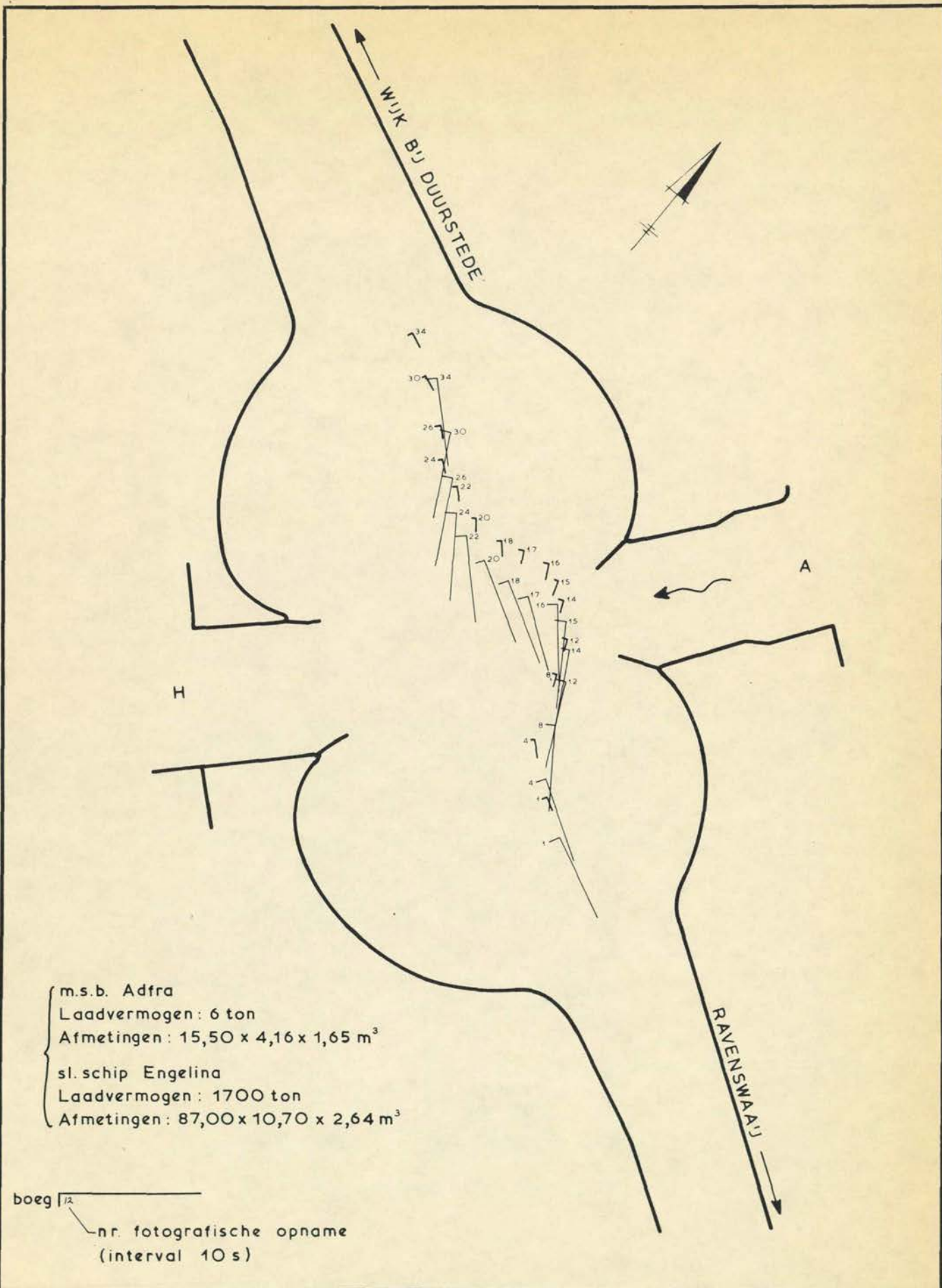
DEEL I

SCHAAL 1:5000

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M. 974/975

FIG. 19



OVERSTEEK VAN EEN SLEEP  
(prototypemeting 5-1-1968)

DEEL I

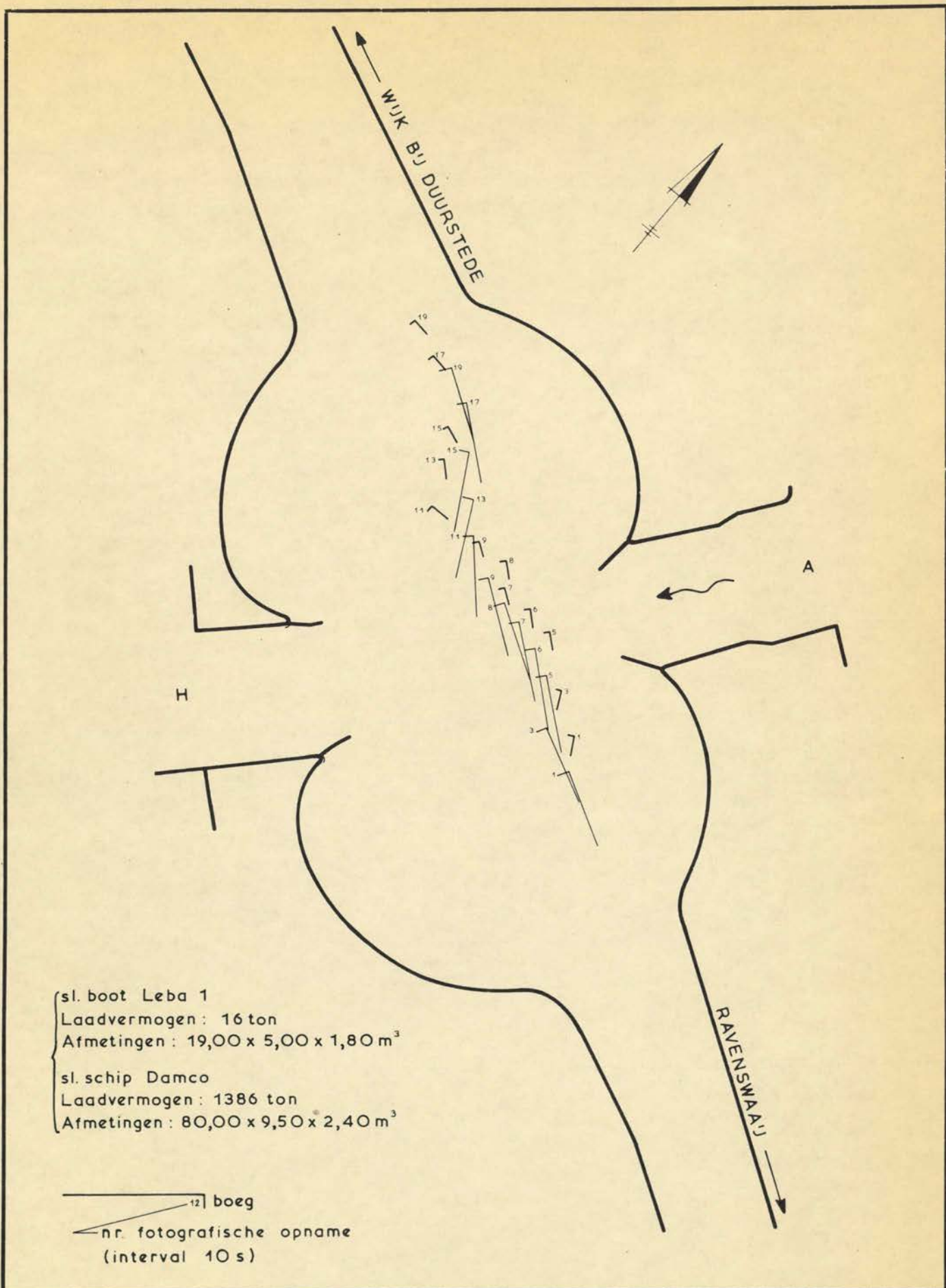
SCHAAL 1:5000

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M. 974/975

FIG. 20





OVERSTEEK VAN EEN SLEEP  
 (prototypemeting 5-1-1968)

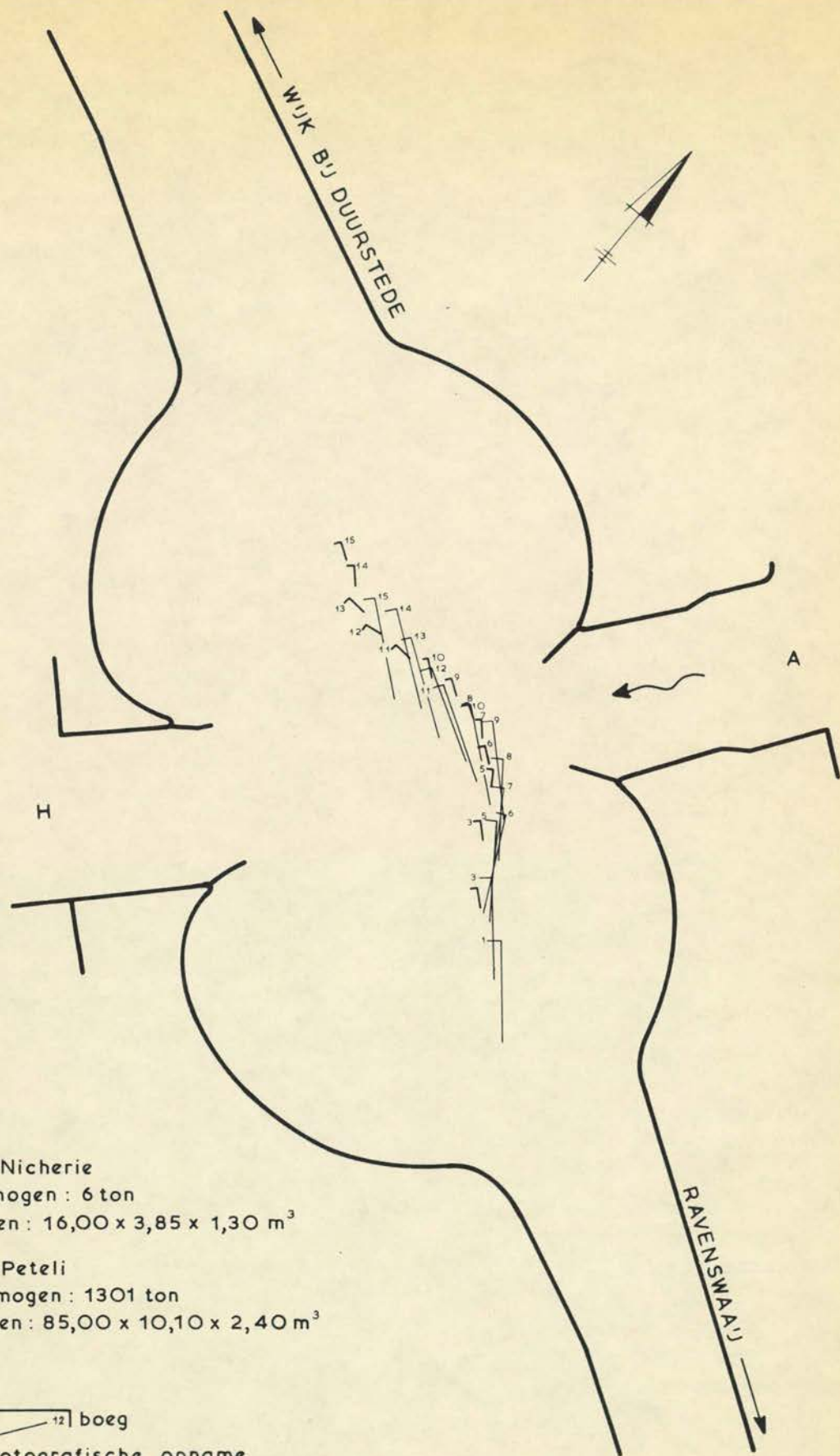
DEEL I

SCHAAL 1:5000

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M. 974/975

FIG. 21



{ sl. boot Nicherie  
 Laadvermogen : 6 ton  
 Afmetingen : 16,00 x 3,85 x 1,30 m<sup>3</sup>  
 { sl. schip Peteli  
 Laadvermogen : 1301 ton  
 Afmetingen : 85,00 x 10,10 x 2,40 m<sup>3</sup>

————— 12 | boeg  
 — nr. fotografische opname  
 (interval 10 s)

OVERSTEEK VAN EEN SLEEP  
 (prototypemeting 5-1-1968)

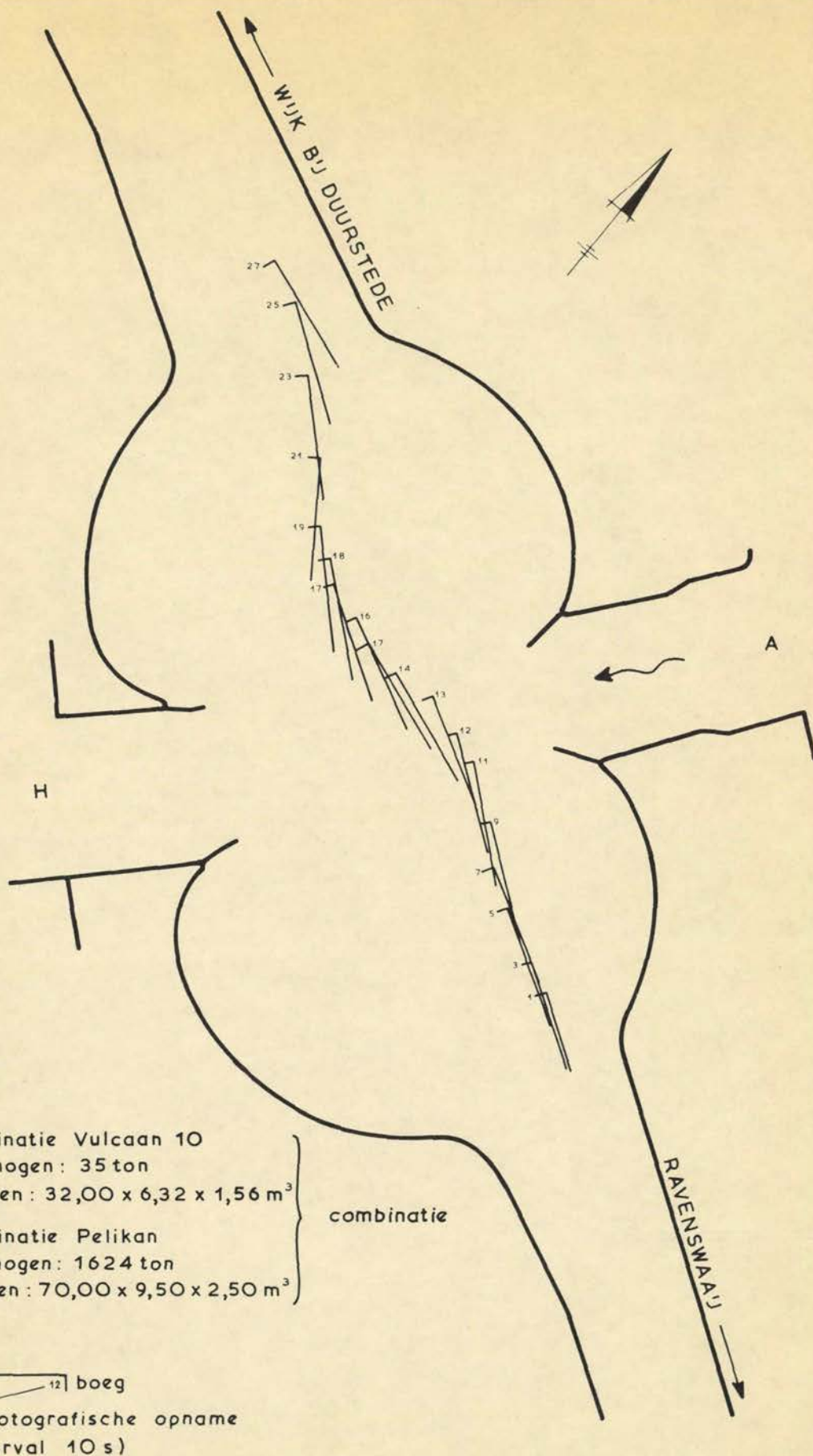
DEEL I

SCHAAL 1:5000

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M. 974/975

FIG. 22



OVERSTEEK VAN EEN DUWCOMBINATIE  
 (Prototypemeting 5-1-1968)

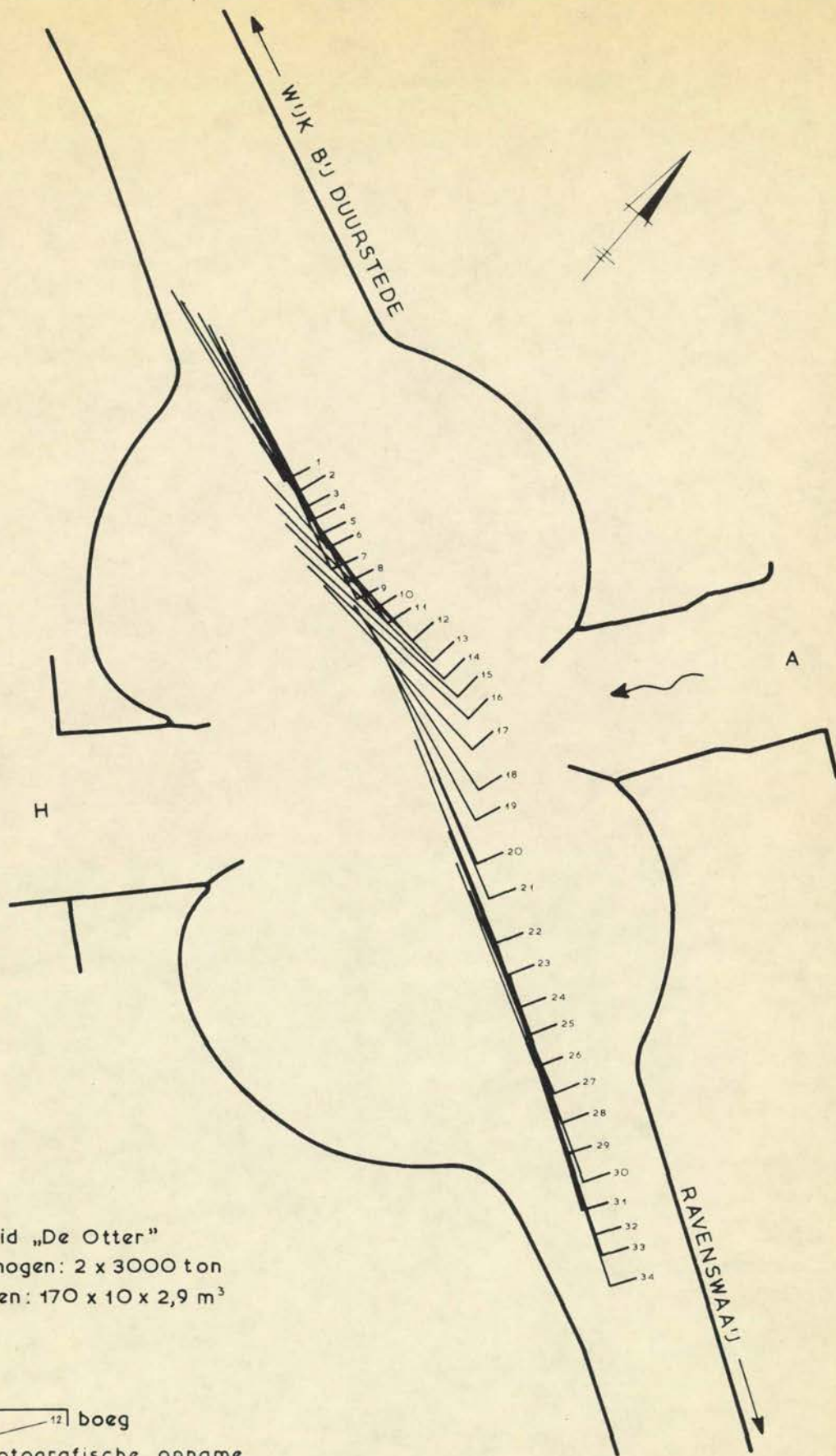
DEEL I

SCHAAL 1:5000

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M. 974/975

FIG. 23



duweenheid „De Otter“  
 Laadvermogen: 2 x 3000 ton  
 Afmetingen: 170 x 10 x 2,9 m<sup>3</sup>  
 920 PK

— 12 | boeg  
 — nr. fotografische opname  
 (interval 10 s)

OVERSTEEK VAN EEN DUWEENHEID  
 (Prototypemeting 14-4-1967)

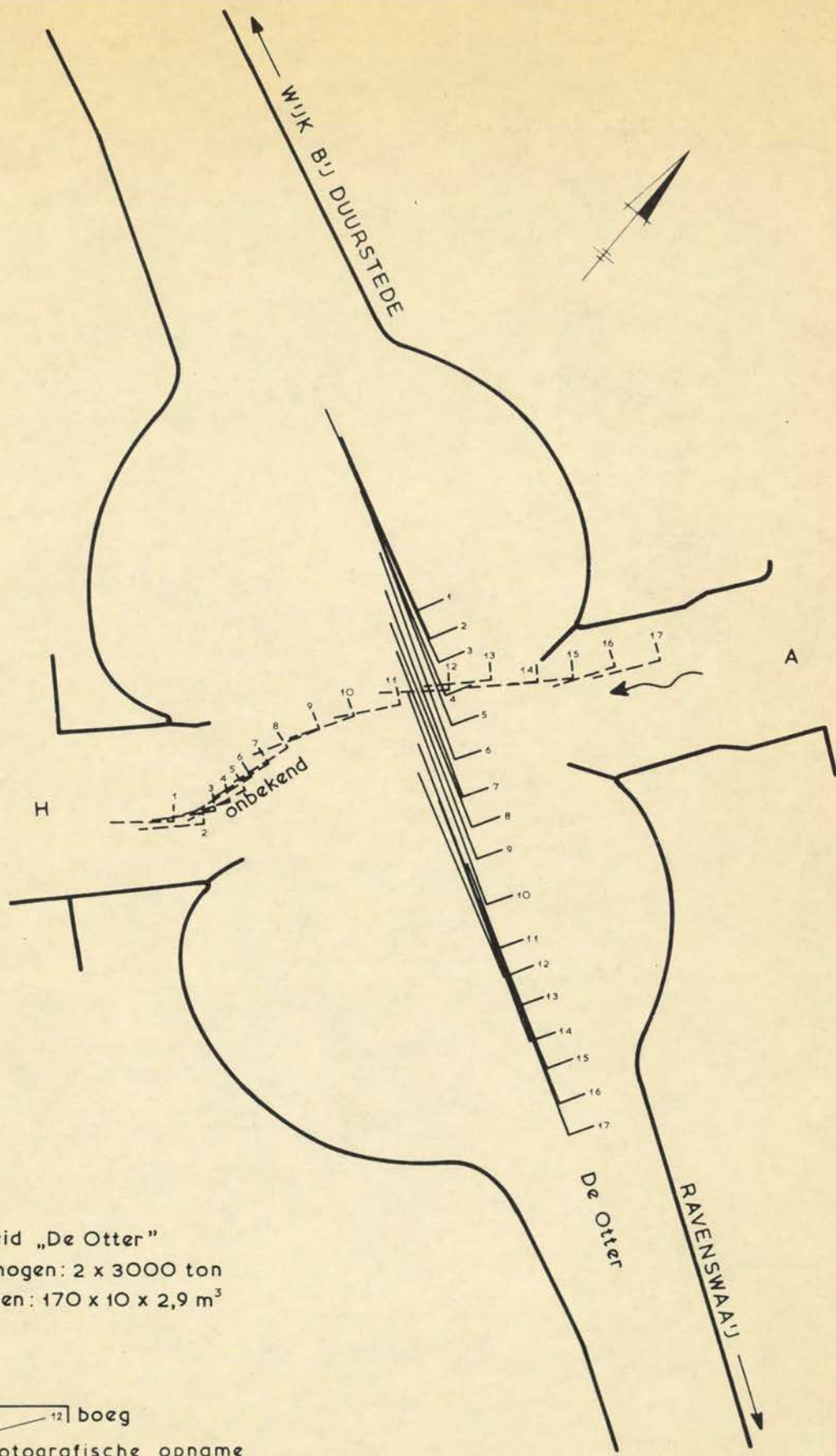
DEEL I

SCHAAL 1:5000

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M. 974/975

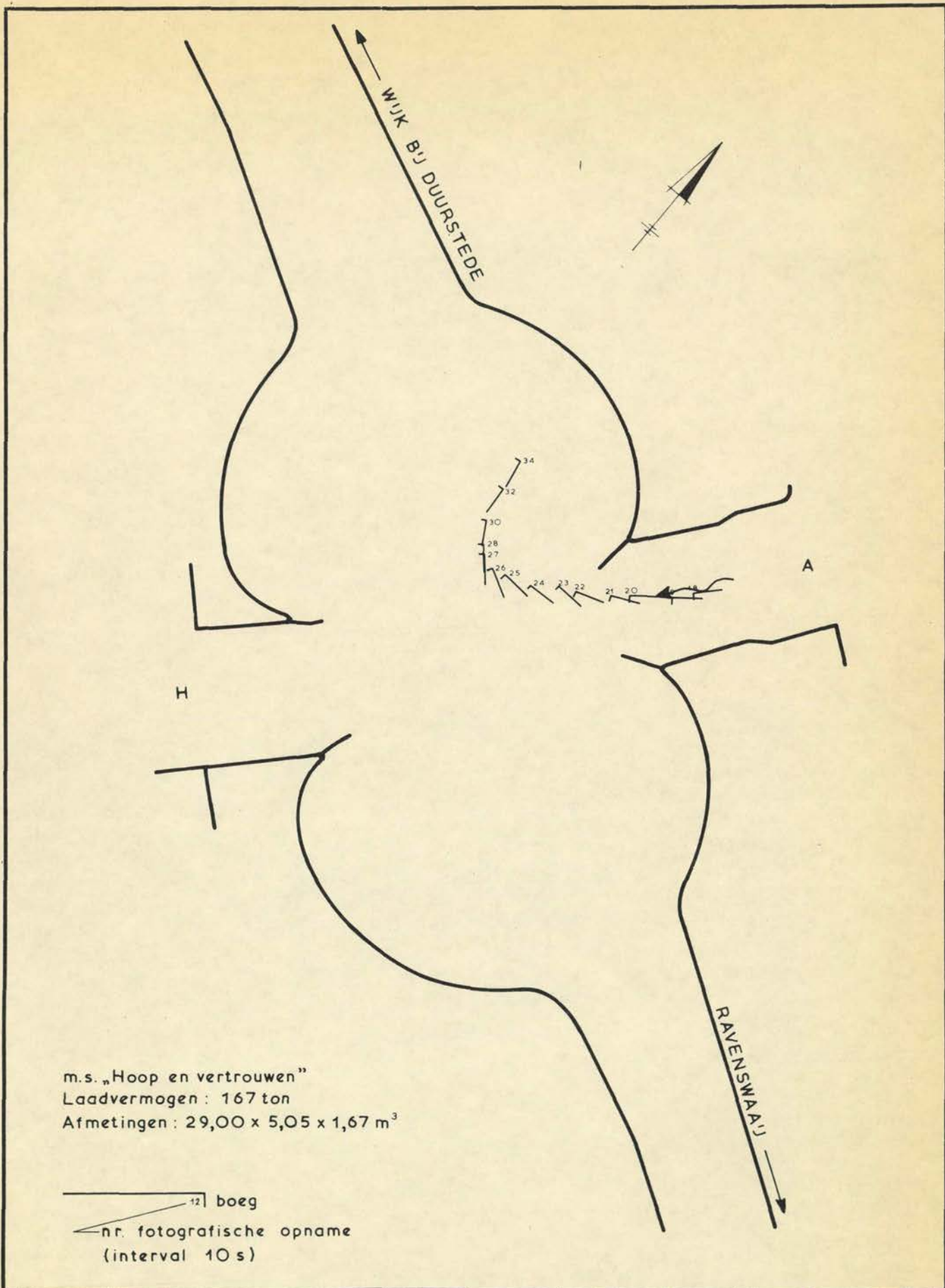
FIG. 24



duweenheid „De Otter”  
 Laadvermogen: 2 x 3000 ton  
 Afmetingen: 170 x 10 x 2,9 m<sup>3</sup>  
 920 PK

—| 12 | boeg  
 — nr. fotografische opname  
 (interval 10 s)

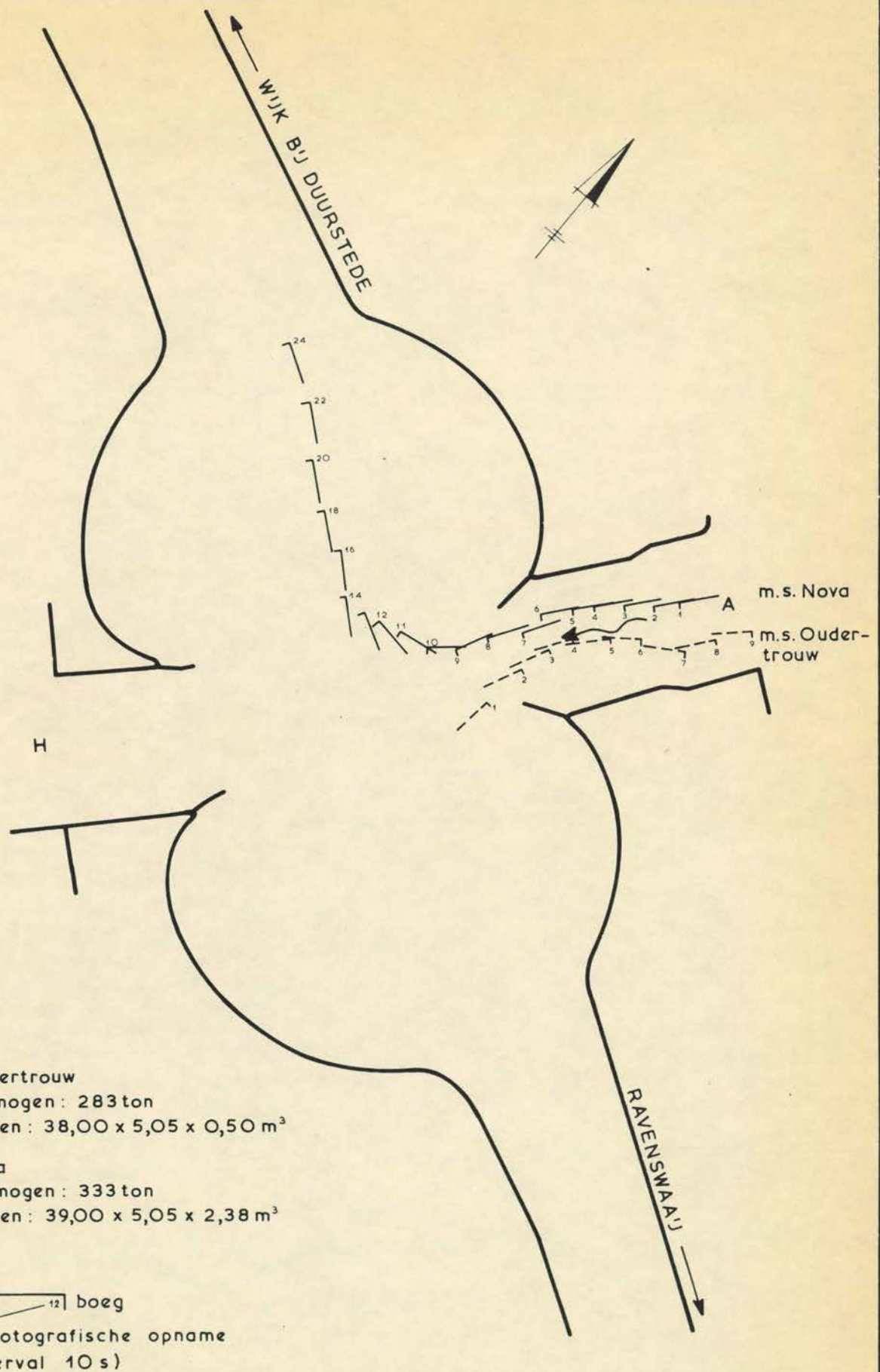
OVERSTEEK VAN EEN DUWEENHEID (Prototypemeting 9-5-1967)	DEEL I
	SCHAAL 1:5000
WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM	M. 974/975 FIG. 25



m.s. „Hoop en vertrouwen”  
 Laadvermogen : 167 ton  
 Afmetingen : 29,00 x 5,05 x 1,67 m<sup>3</sup>

— 12 | boeg  
 — nr. fotografische opname  
 (interval 10 s)

AFSLAANDE VAART (prototypemeting 5-1-1968)	DEEL I
	SCHAAL 1:5000
WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM	M. 974/975    FIG. 26



m.s. Oudertrouw  
 Laadvermogen : 283 ton  
 Afmetingen : 38,00 x 5,05 x 0,50 m<sup>3</sup>

m.s. Nova  
 Laadvermogen : 333 ton  
 Afmetingen : 39,00 x 5,05 x 2,38 m<sup>3</sup>

—|<sup>12</sup> boeg  
 —nr. fotografische opname  
 (interval 10 s)

AFSLAANDE VAART  
 (prototypemeting 5-1-1968)

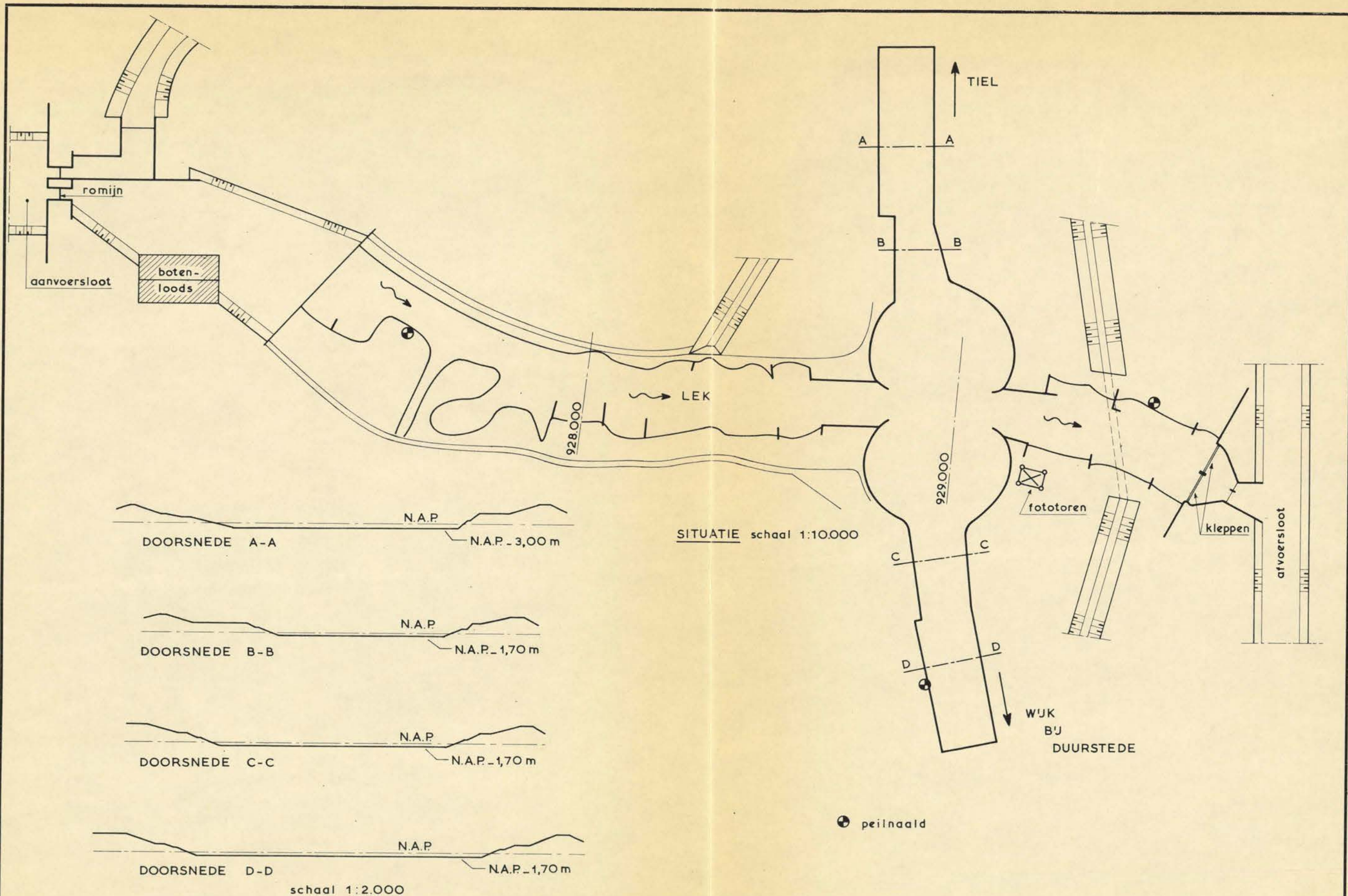
DEEL I

SCHAAL 1:5000

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M. 974/975

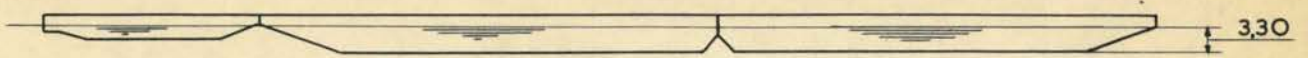
FIG. 27



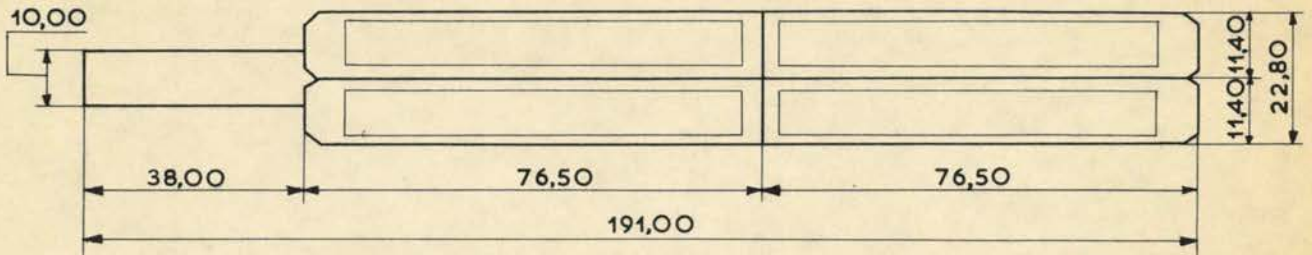
OVERZICHT MODEL		DEEL I
	SCHALEN	1: 10.000 1: 2.000
WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM	M.974/975	FIG. 28



ZIJAANZICHT



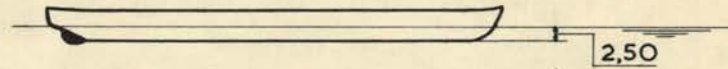
BOVENAAZICHT



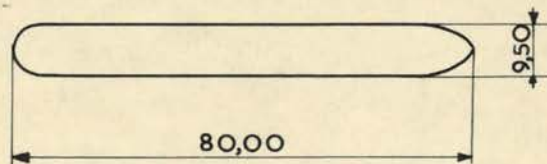
BREDE DUWEENHEID

duwboot "VULCAAN I" met 2x2 brede lichters

ZIJAANZICHT



BOVENAAZICHT



MOTORSCHIP

Rijn-Hernekanaalschip "ADRIAAN"

alle afmetingen zijn in m prototype

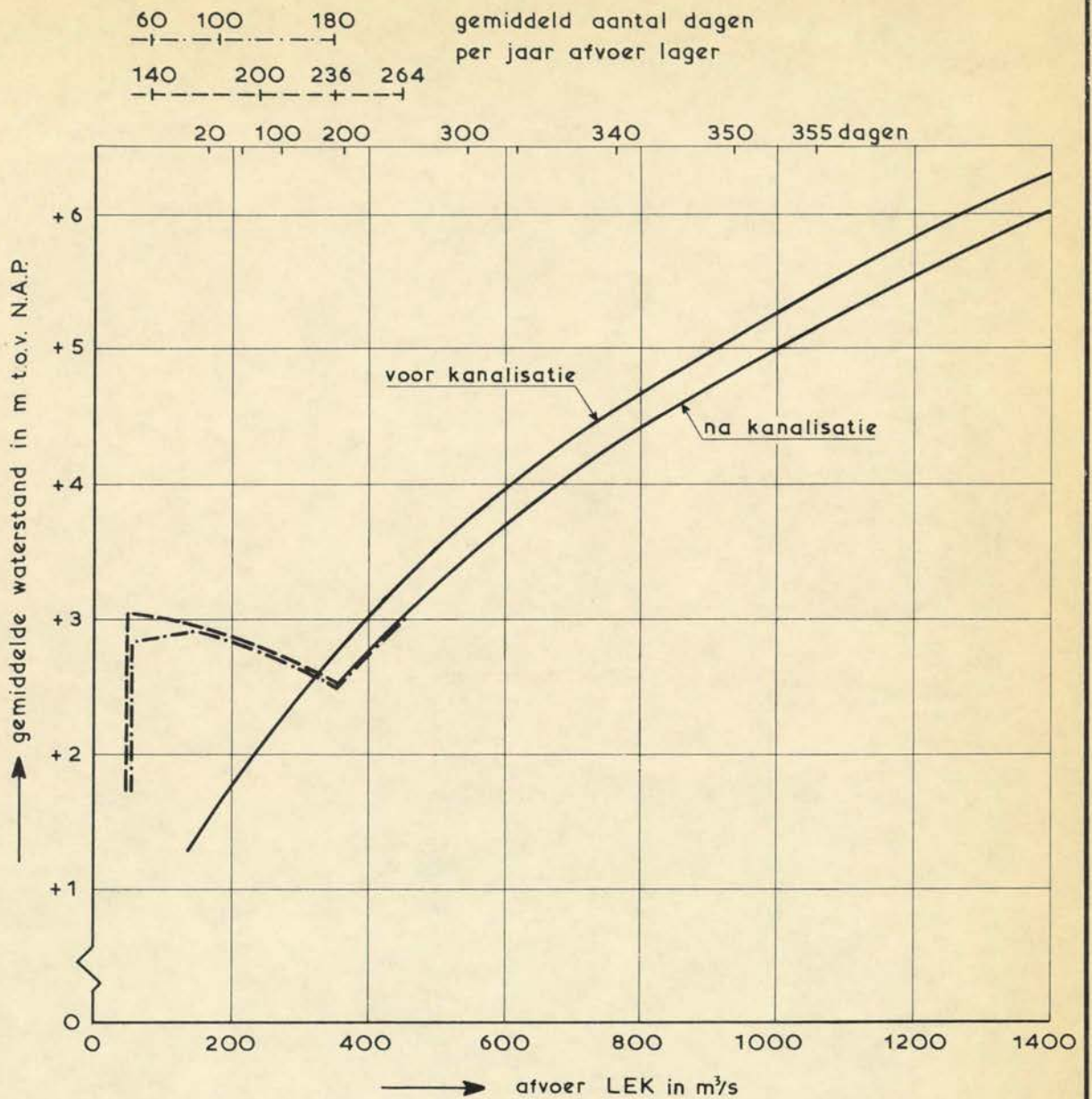
MODELSCHEPEN

DEEL I

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M.974/975

FIG. 29



- Open rivier
- Stuwprogramma "250"
- - - Stuwprogramma "350"

Volgens RWS-tekening nr. 66.672 en nr. 67.727

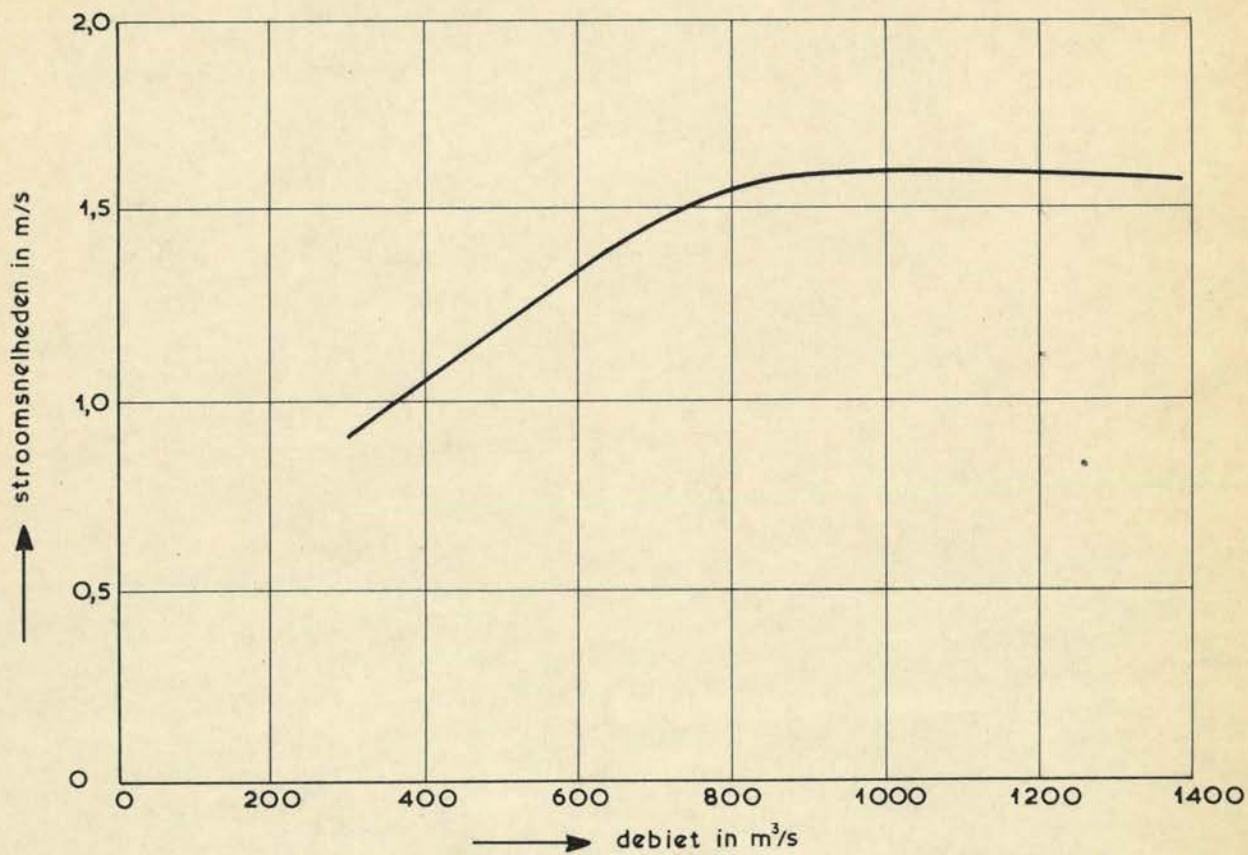
VERBAND TUSSEN AFVOER LEK  
 EN WATERSTAND IN k.m.r. 928.875

DEEL I

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M.974/975

FIG. 30



De aangegeven stroomsnelheden treden op tussen de bovenstroomse stroomgeleiders

STROOMSNELHEDEN BIJ ONGESTUWDE RIVIER

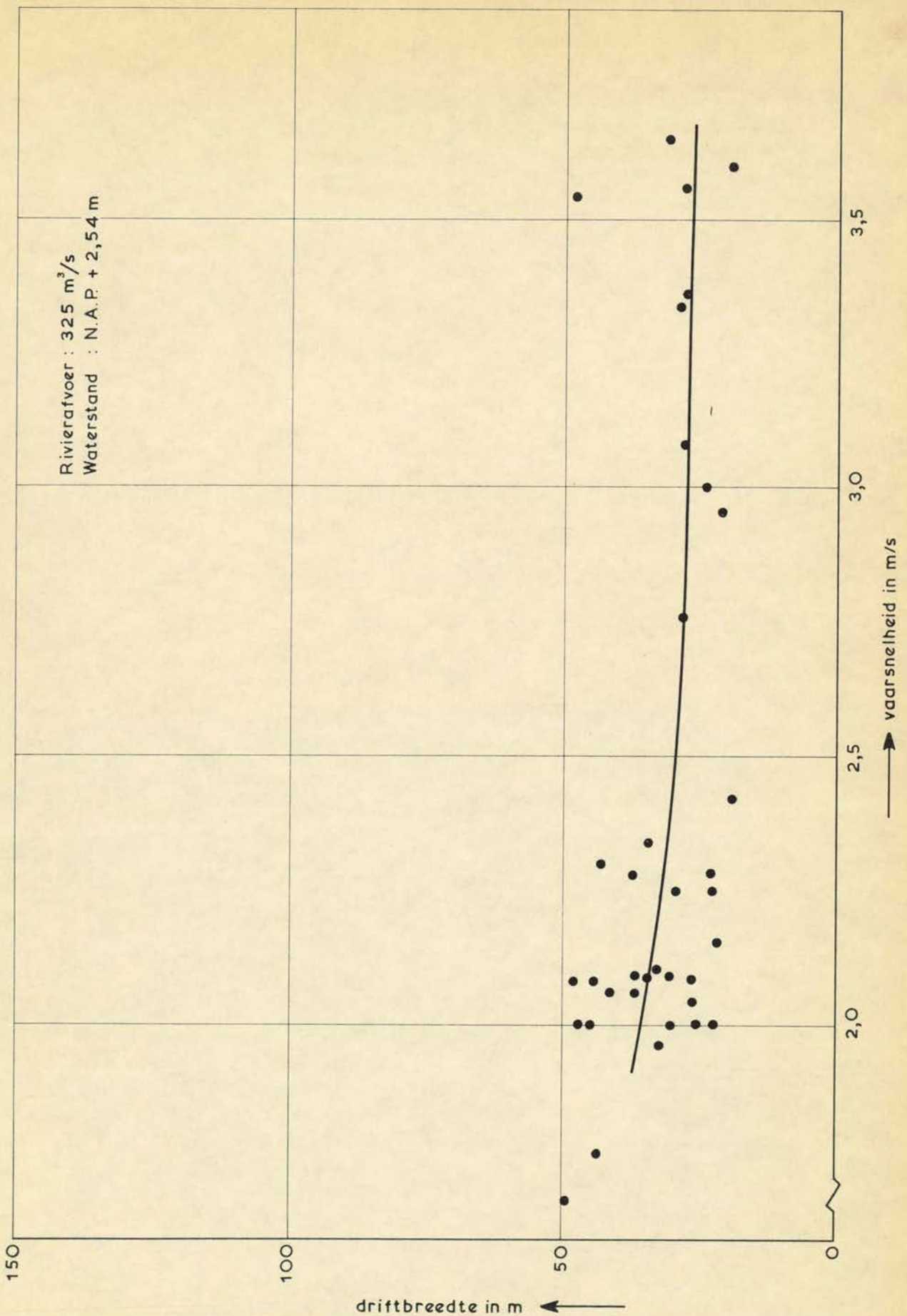
TO

DEEL I

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M.974/975

FIG. 31



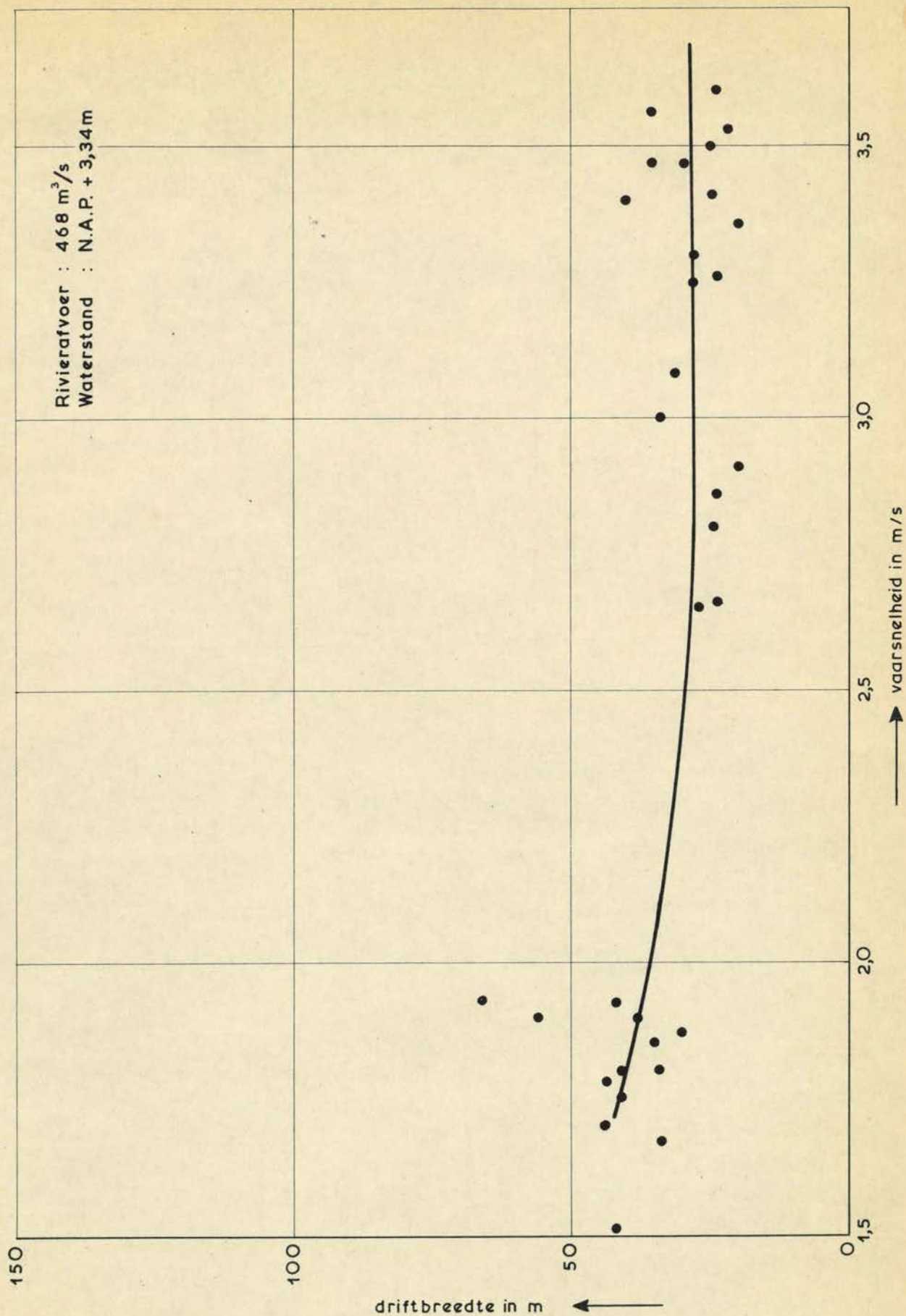
DRIFTBREEDTE VAN HET MOTORSCHIP  
( $Q_{Lek} = 325 \text{ m}^3/\text{s}$ )

DEEL I

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

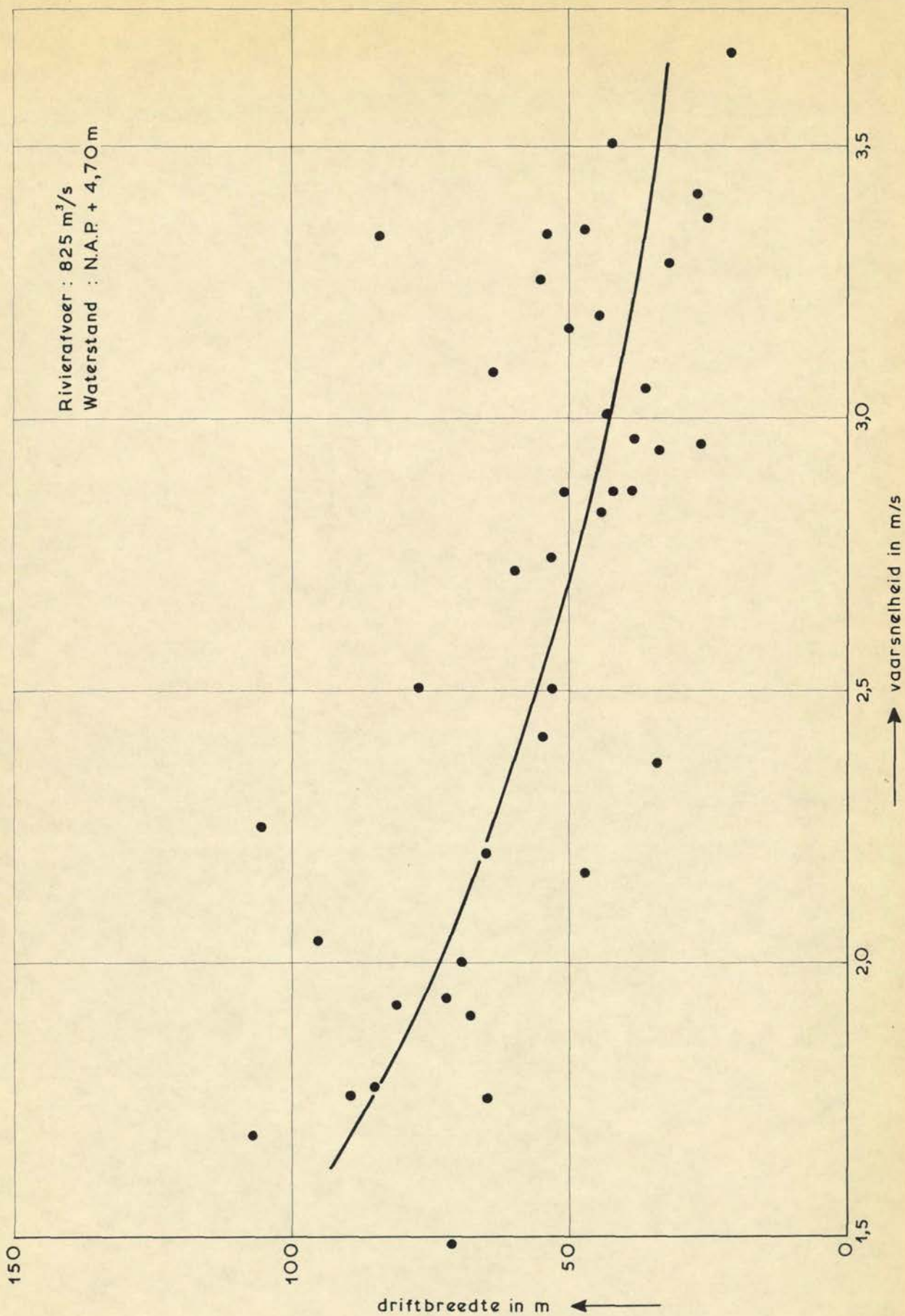
M.974/975

FIG. 32



DRIFTBREEDTE VAN HET MOTORSCHIP  
 ( $Q_{Lek} = 468 \text{ m}^3/\text{s}$ )

DEEL I



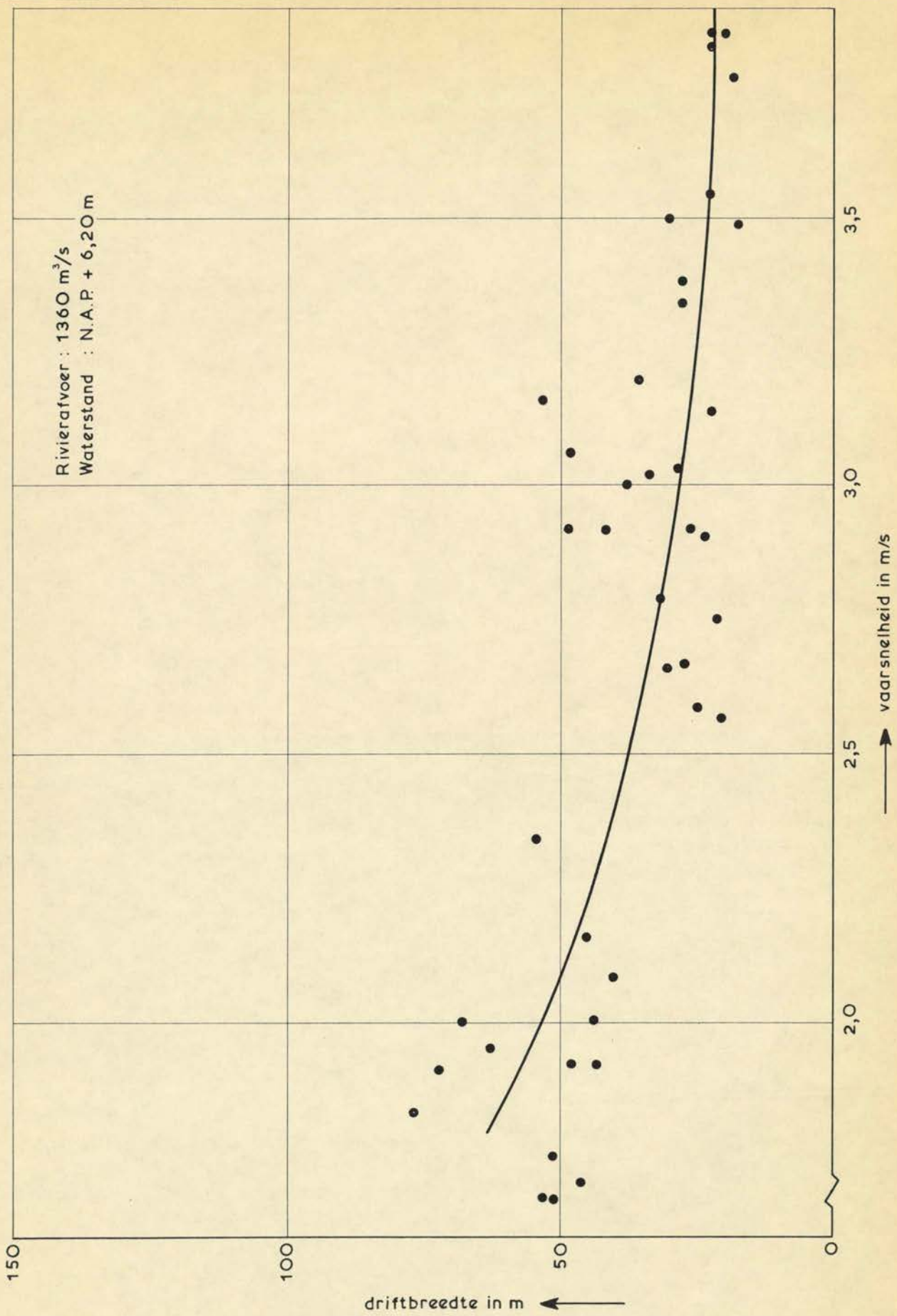
DRIFTBREEDTE VAN HET MOTORSCHIP  
( $Q_{Lek} = 825 \text{ m}^3/\text{s}$ )

DEEL I

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

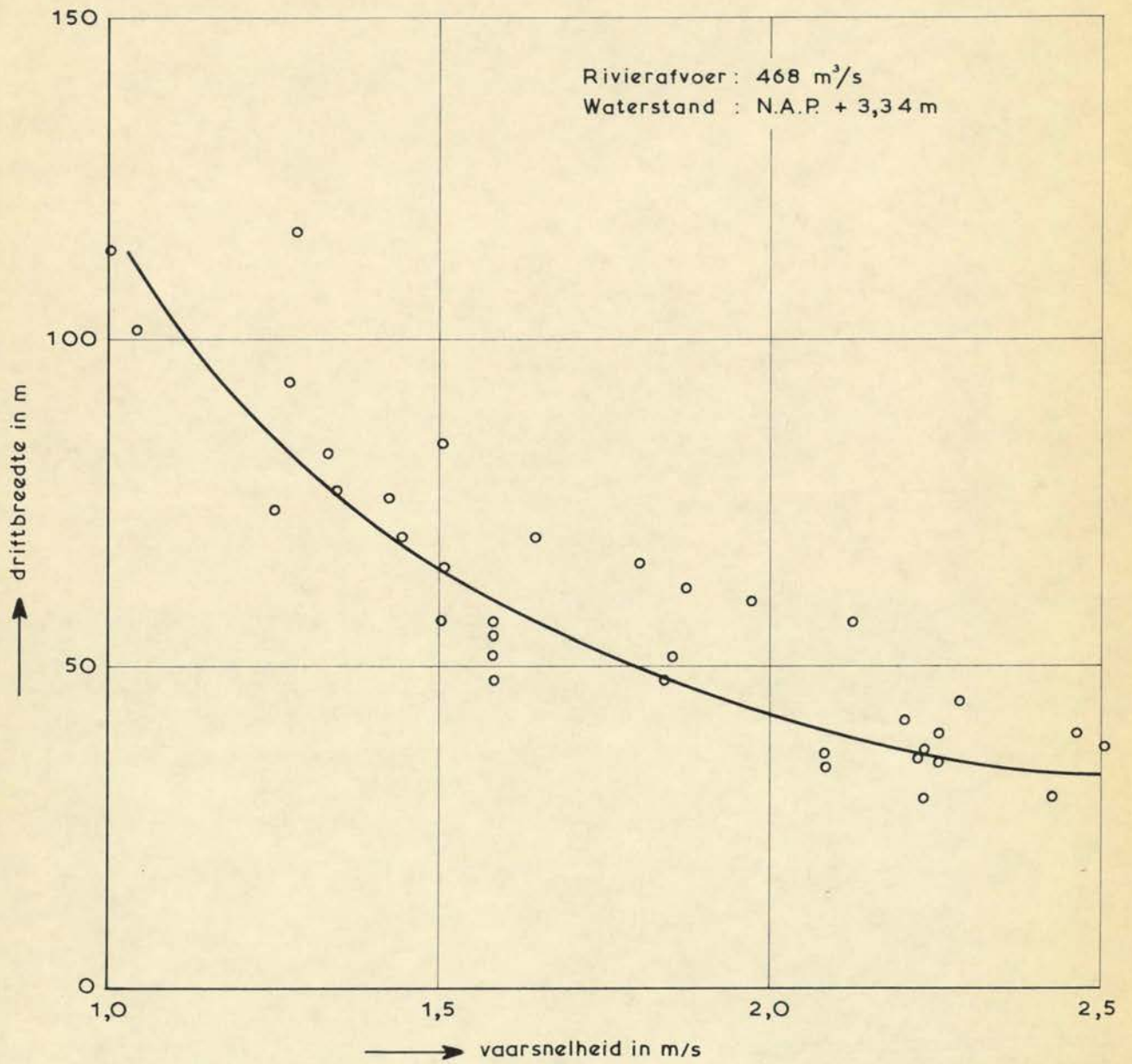
M.974/975

FIG. 34



DRIFTBREEDTE VAN HET MOTORSCHIP  
 ( $Q_{Lek} = 1360 \text{ m}^3/\text{s}$ )

DEEL I



DRIFTBREEDTE VAN DE DUWEENHEID  
( $Q_{Lek} = 468 \text{ m}^3/\text{s}$ )

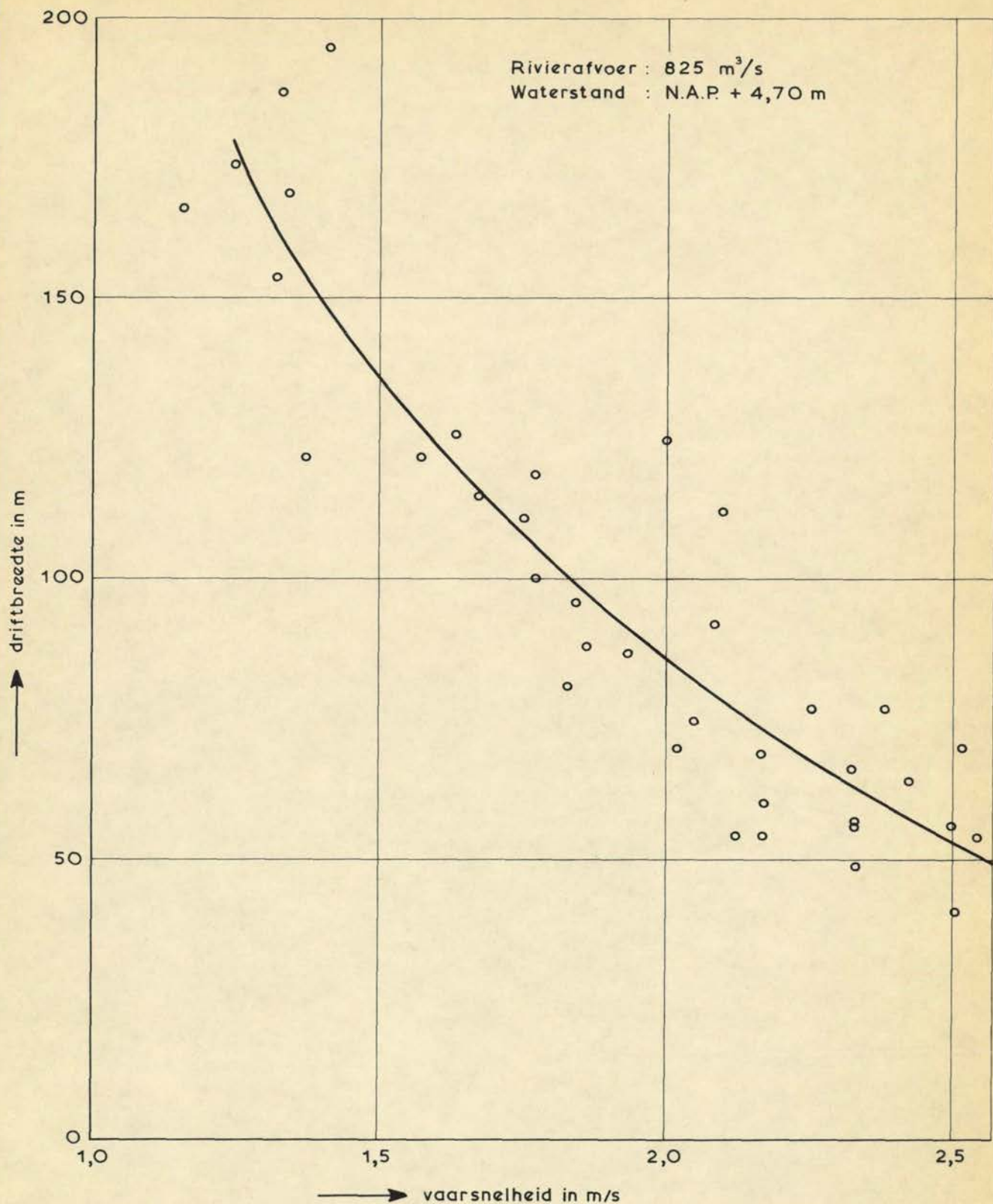
DEEL I

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M.974/975

FIG. 36





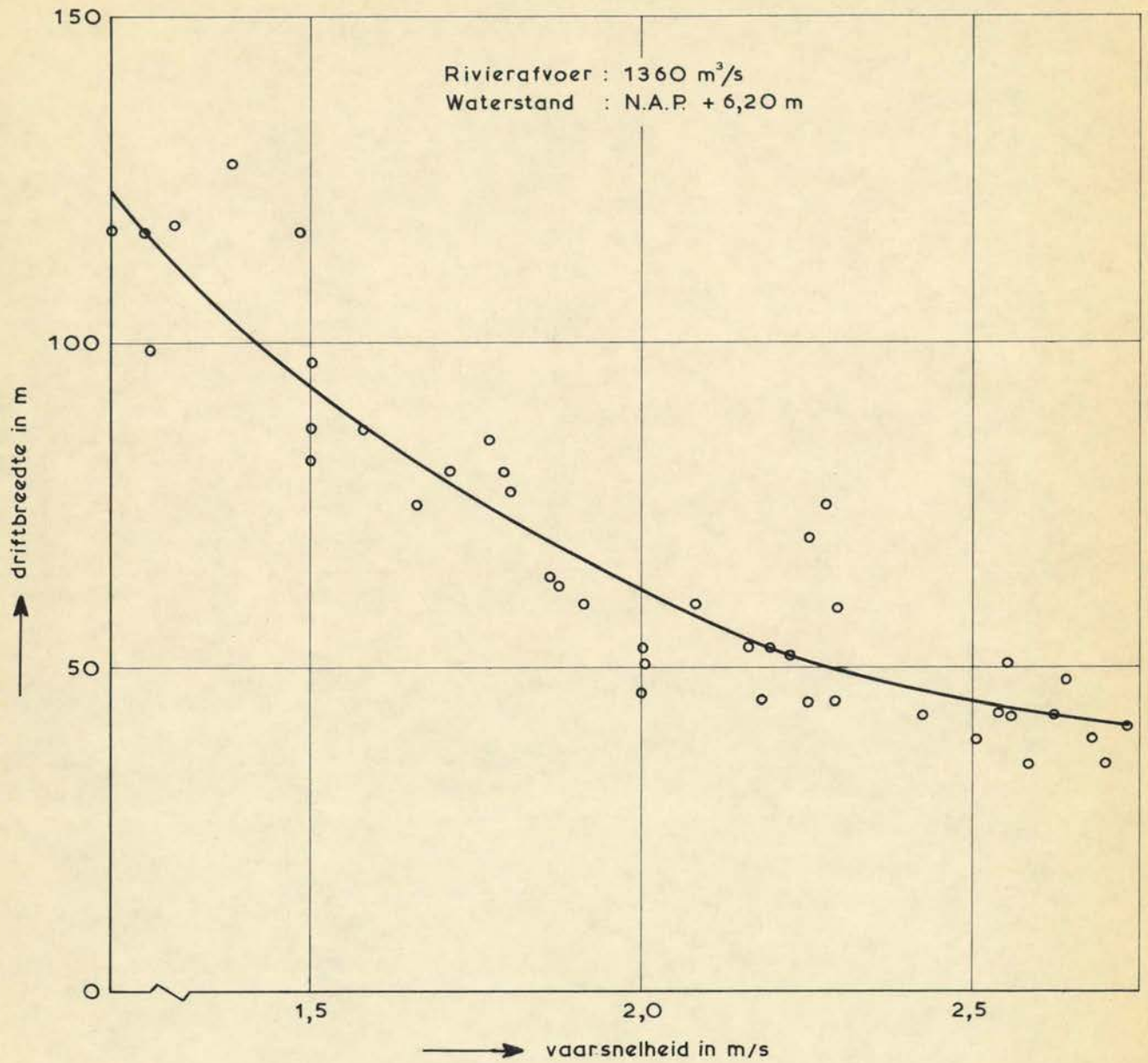
DRIFTBREEDTE VAN DE DUWEENHEID  
( $Q_{Lek} = 825 \text{ m}^3/\text{s}$ )

DEEL I

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M. 974/975

FIG. 37



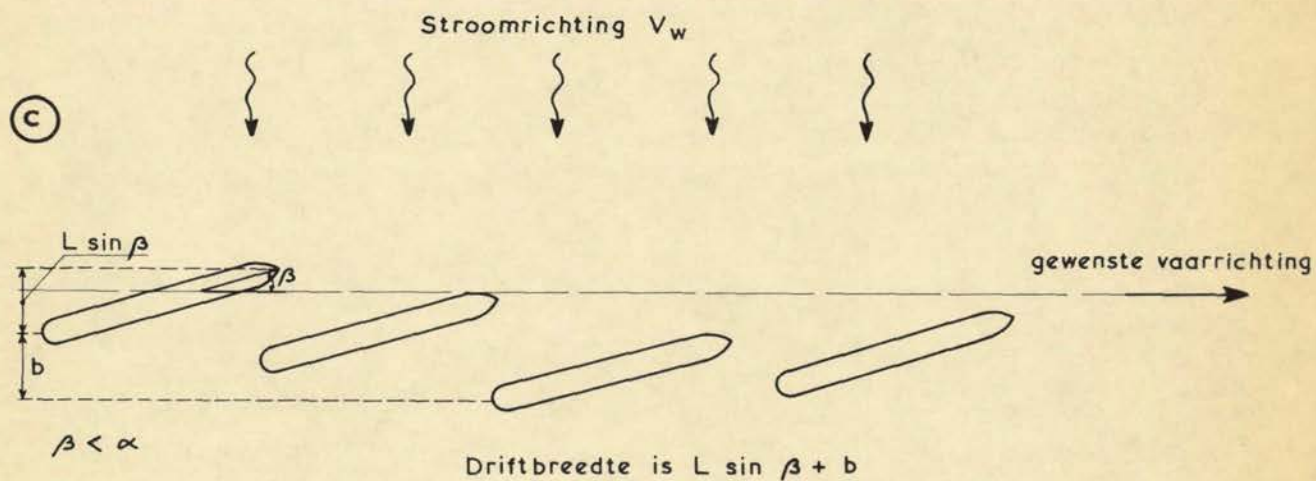
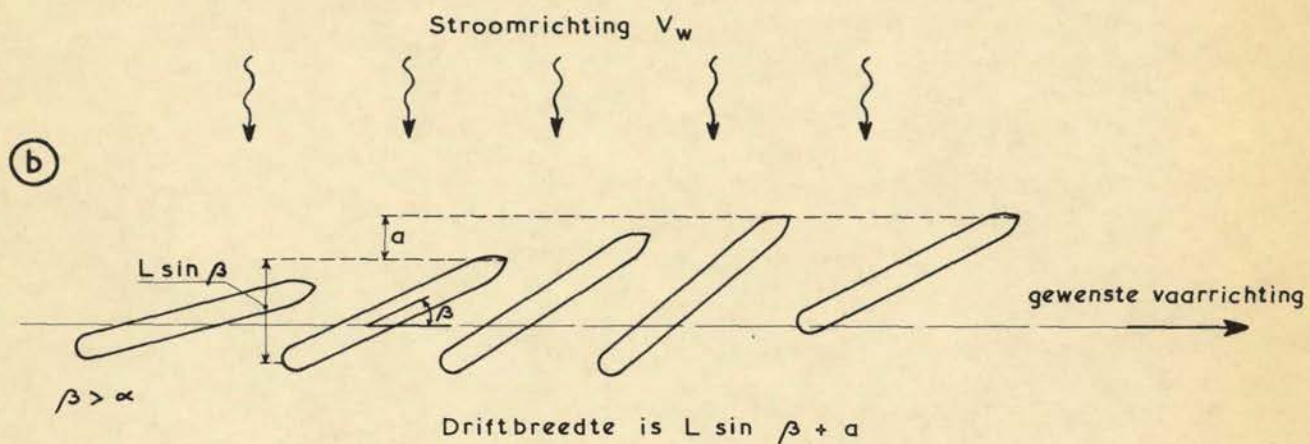
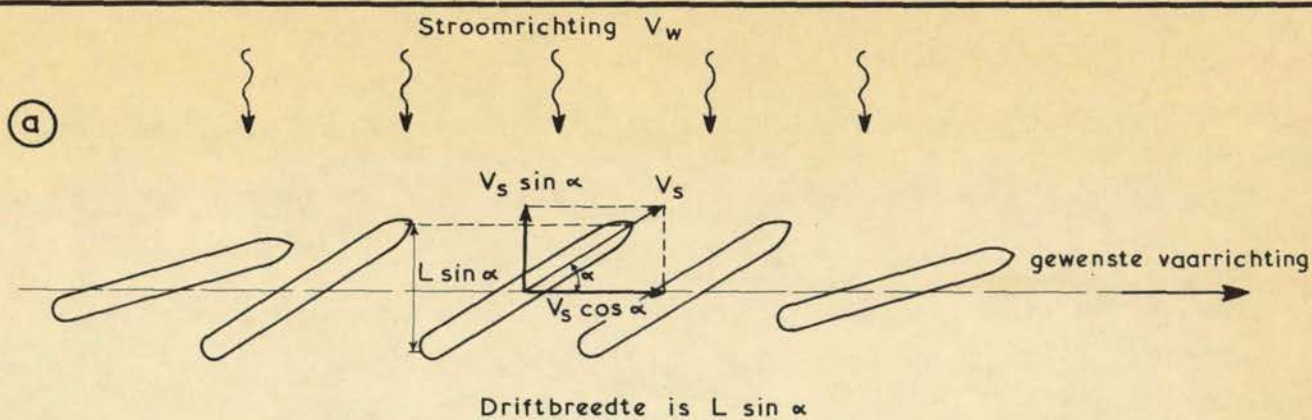
DRIFTBREEDTE VAN DE DUWEENHEID  
( $Q_{Lek} = 1360 \text{ m}^3/\text{s}$ )

DEEL I

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M.974/975

FIG. 38



$L$  = scheepslengte  
 $\alpha$  = evenwichtshoek  
 $\beta$  = opstuurhoek  
 $V_s$  = vaarsnelheid  
 $V_w$  = stroomsnelheid

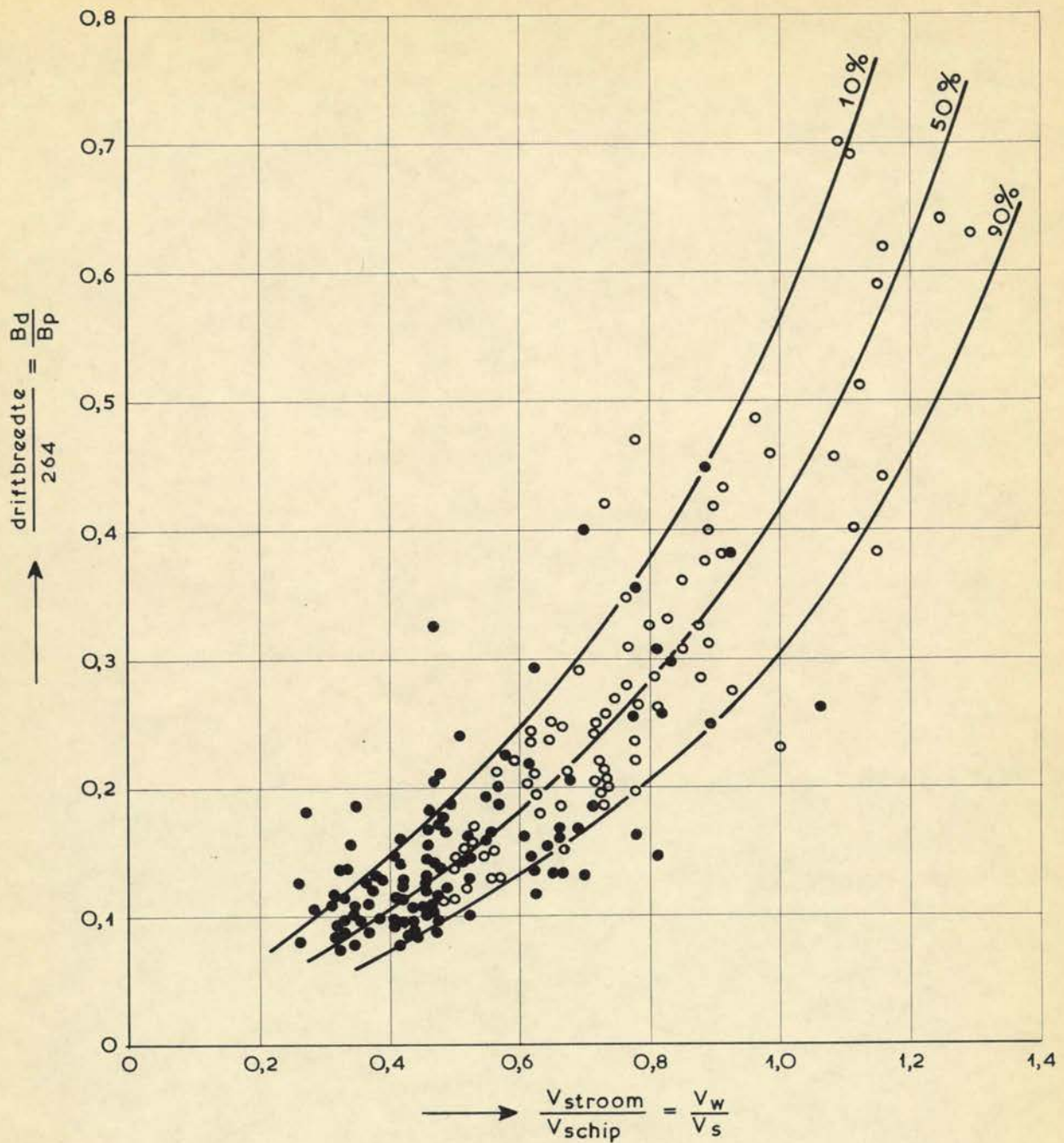
OVERSTEEK MET VERSCHILLENDE  
OPSTUURHOEKEN

DEEL I

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M. 974/975

FIG. 39



- Duweenheid 181 x 22,80 x 3,30 m<sup>3</sup>
- Motorschip 80 x 9,50 x 2,50 m<sup>3</sup>

— 10% 10% van de meetpunten ligt boven deze lijn

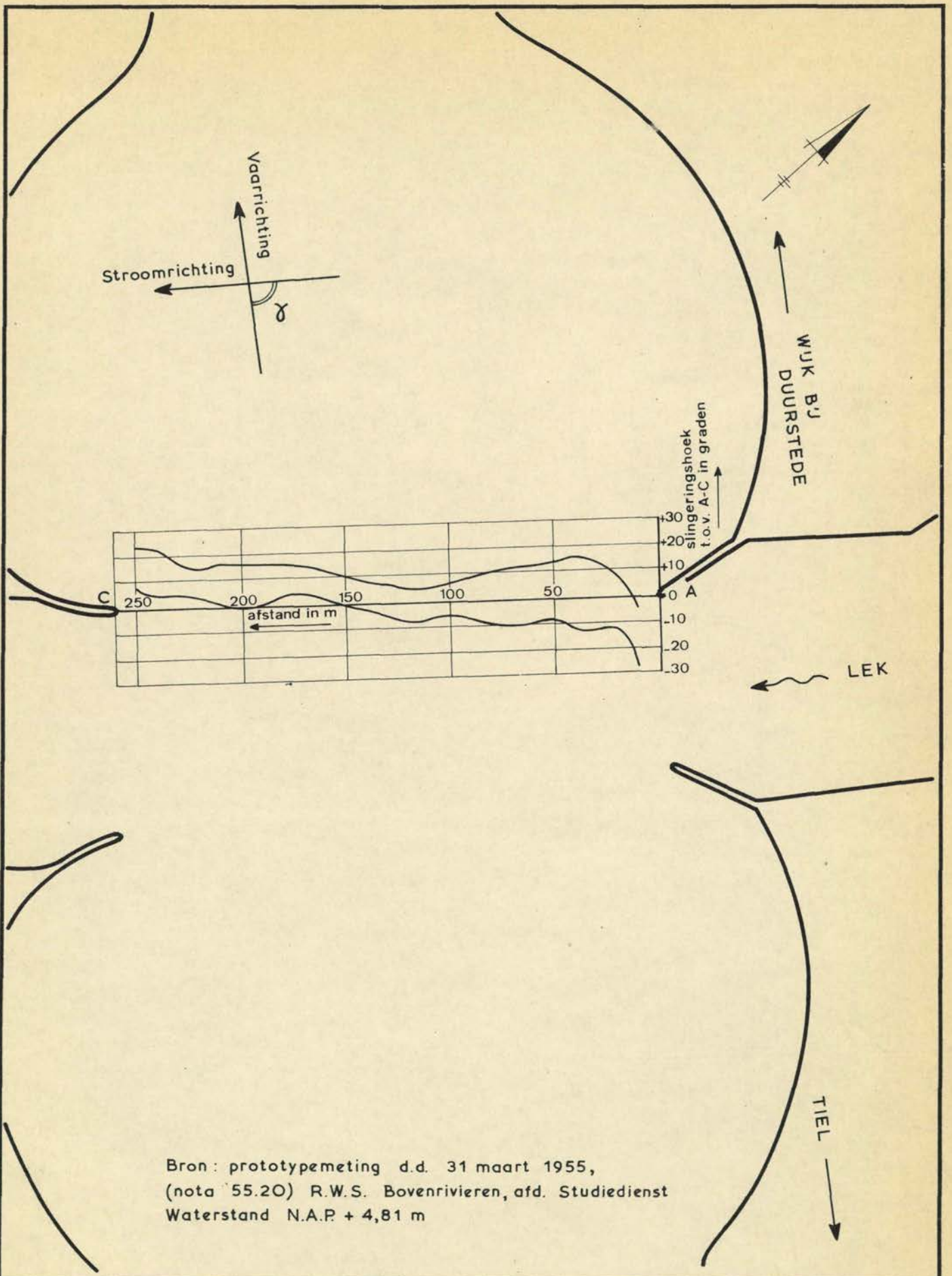
VERBAND TUSSEN DE DRIFTBREEDTE EN  
DE VAAR- EN STROOMSNELHEID  
( $Q_{Lek} \leq 825 \text{ m}^3/\text{s}$ )

DEEL I

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

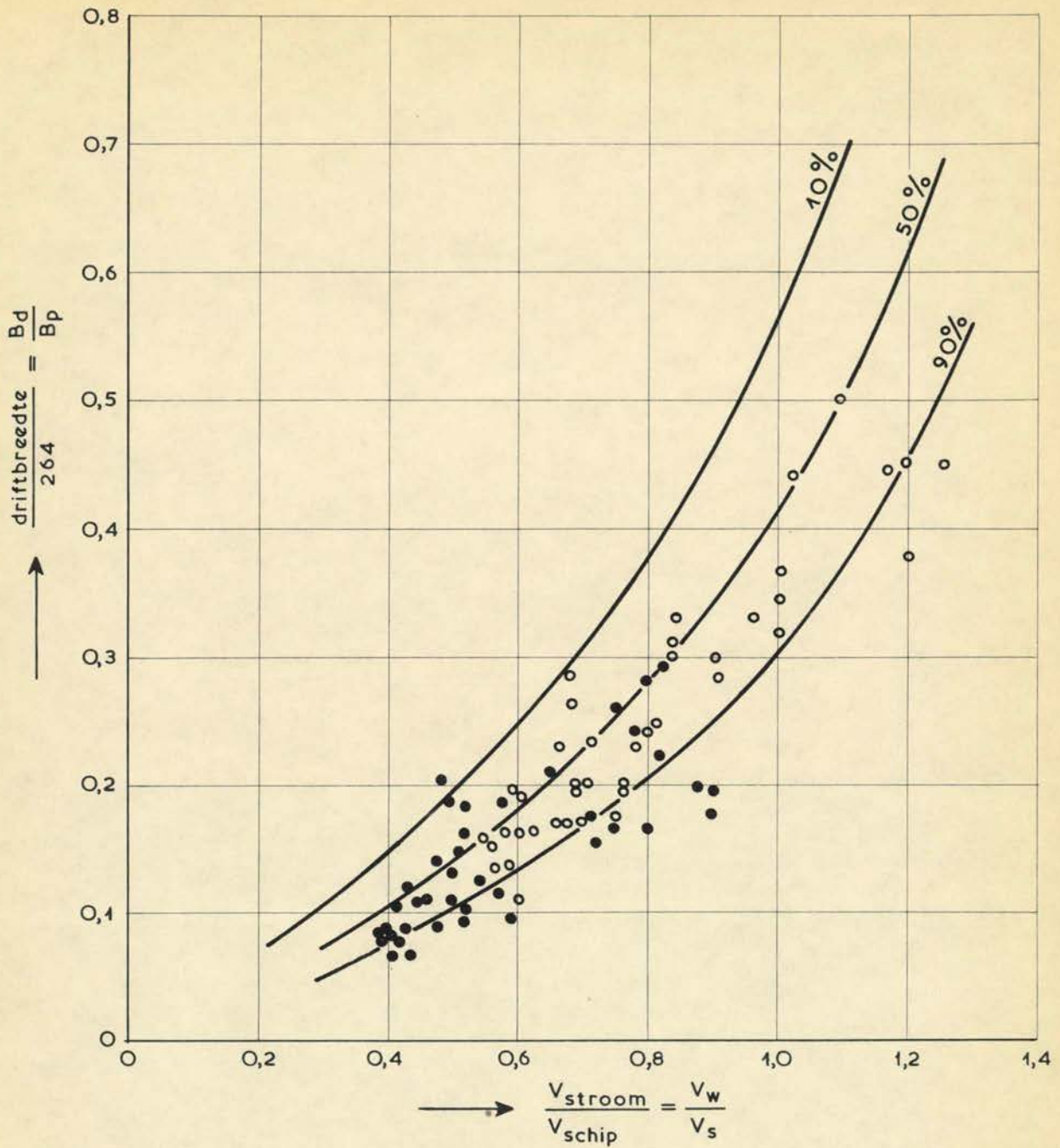
M.974/975

FIG. 40



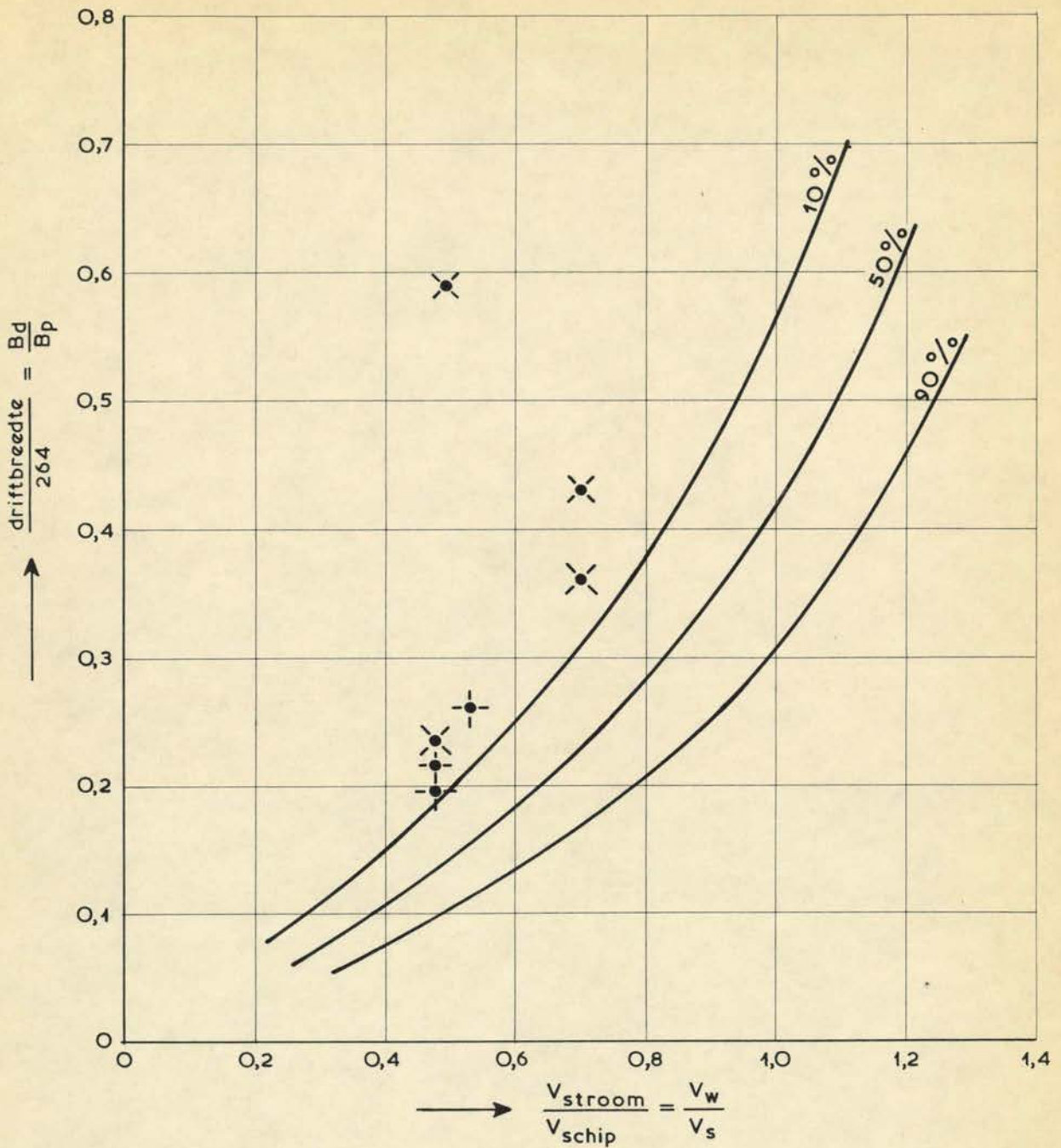
Bron: prototypemeting d.d. 31 maart 1955,  
 (nota 55.20) R.W.S. Bovenrivieren, afd. Studiedienst  
 Waterstand N.A.P. + 4,81 m

SLINGERING VAN DE STROOMRICHTING (GEMIDDELDE VAN DE VERTICAAAL)	prototype	DEEL I
	SCHAAL 1:2500	
WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM	M. 974/975	FIG. 41



VERBAND TUSSEN DE DRIFTBREEDTE EN  
 DE VAAR - EN STROOMSNELHEID  
 ( $Q_{Lek} = 1360 \text{ m}^3/\text{s}$ )

DEEL I



✕ Te laat gestut  
 • Te kleine opstuurhoek } Motorschip

10% Lijnen uit fig. 40

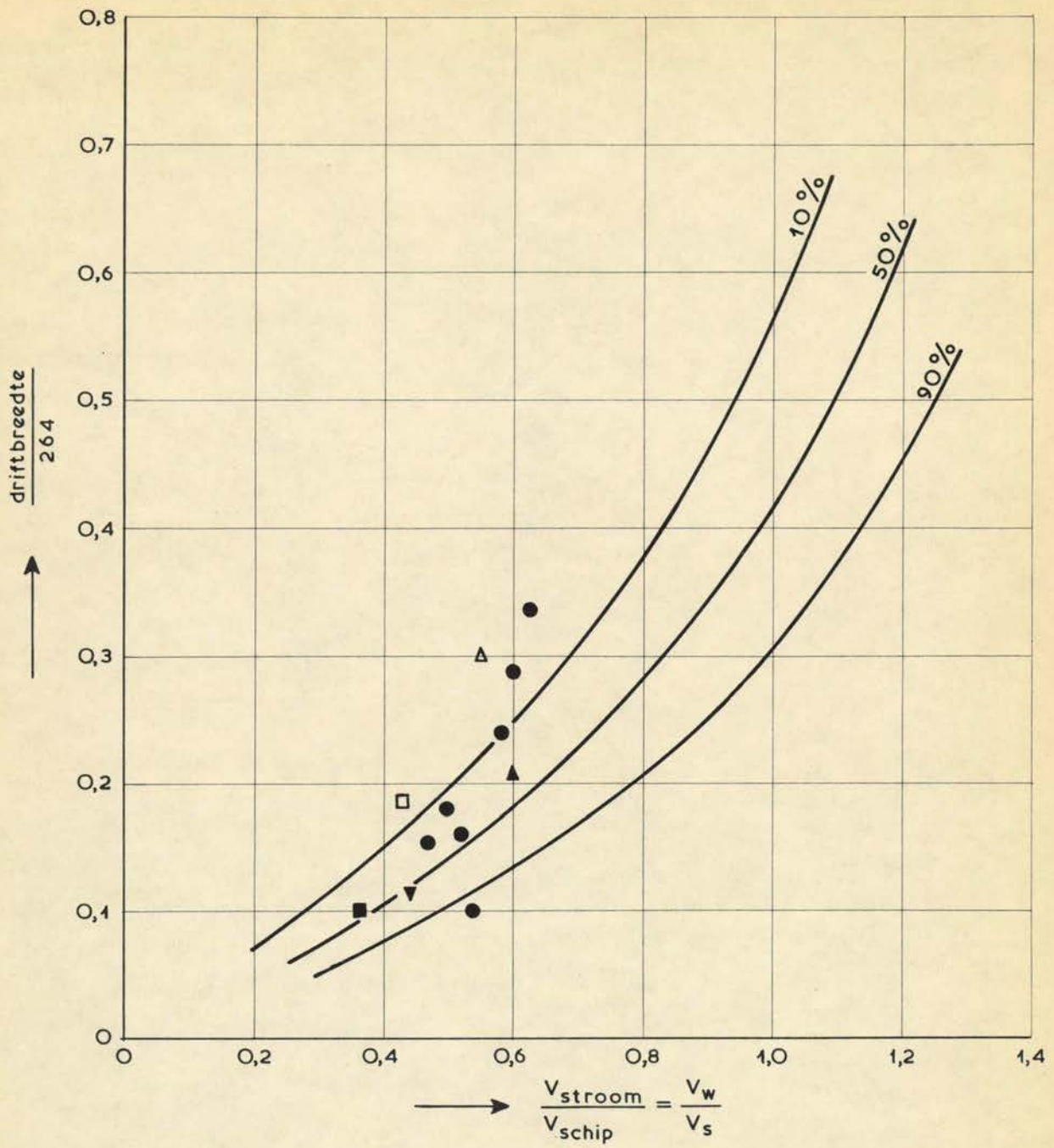
VERBAND TUSSEN DE DRIFTBREEDTE EN  
 DE VAAR - EN STROOMSNELHEID  
 (Minder goede manoeuvres)

DEEL I

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M.974/975

FIG. 43

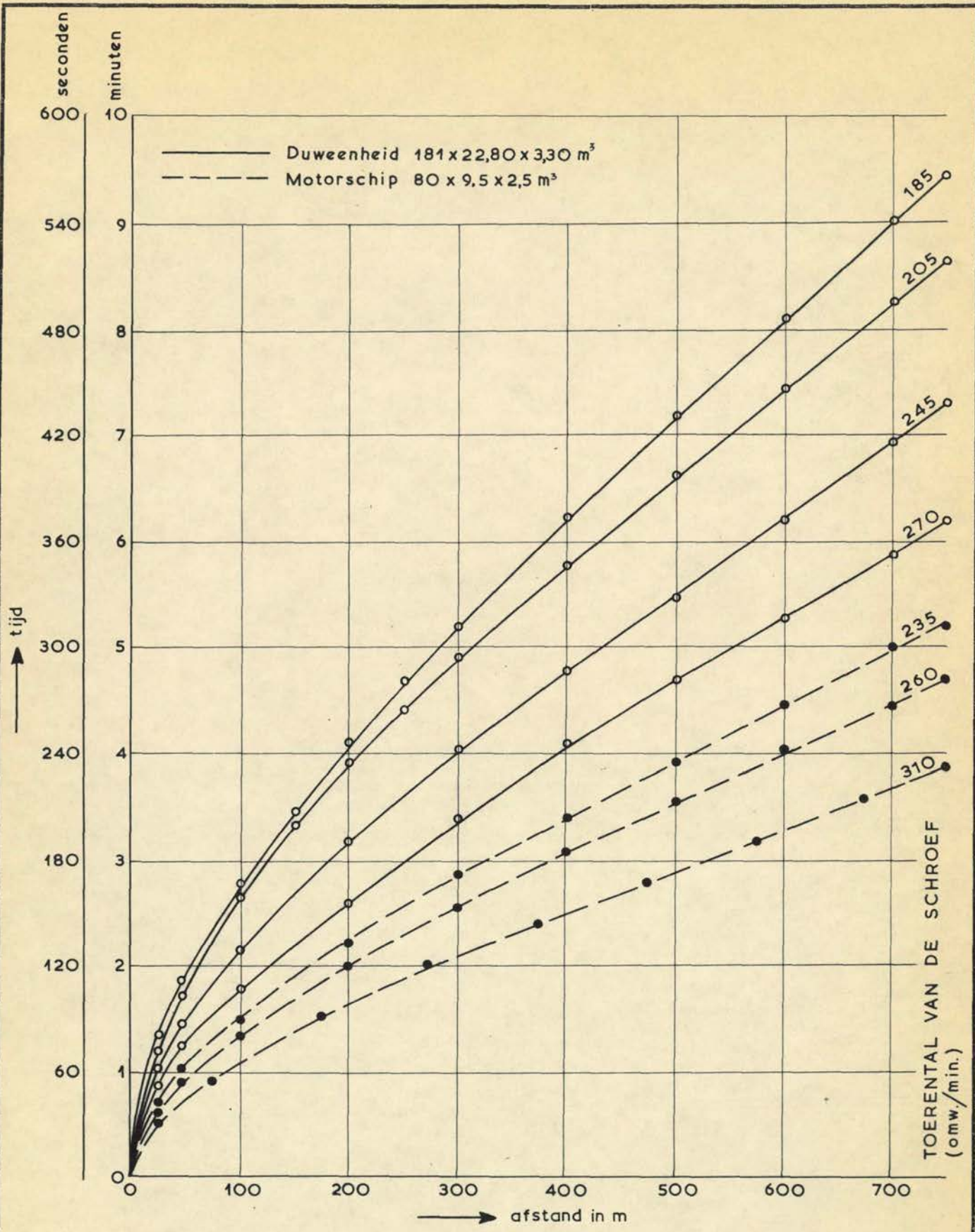


- Motorschip geladen (groot)
- ▲ Motorschip geladen (klein)
- Motorschip ongeladen (groot)
- ▼ Motorschip ongeladen (klein)
- Duweenheid (lang)
- △ Duweenheid (kort)

VERBAND TUSSEN DE DRIFTBREEDTE EN  
DE VAAR - EN STROOMSNELHEID  
( $Q_{Lek} \leq 825 \text{ m}^3/\text{s}$  prototype waarnemingen)

DEEL I





Waterdiepte: ca. 6 m  
 (grootheden uitgedrukt in prototype-maten)

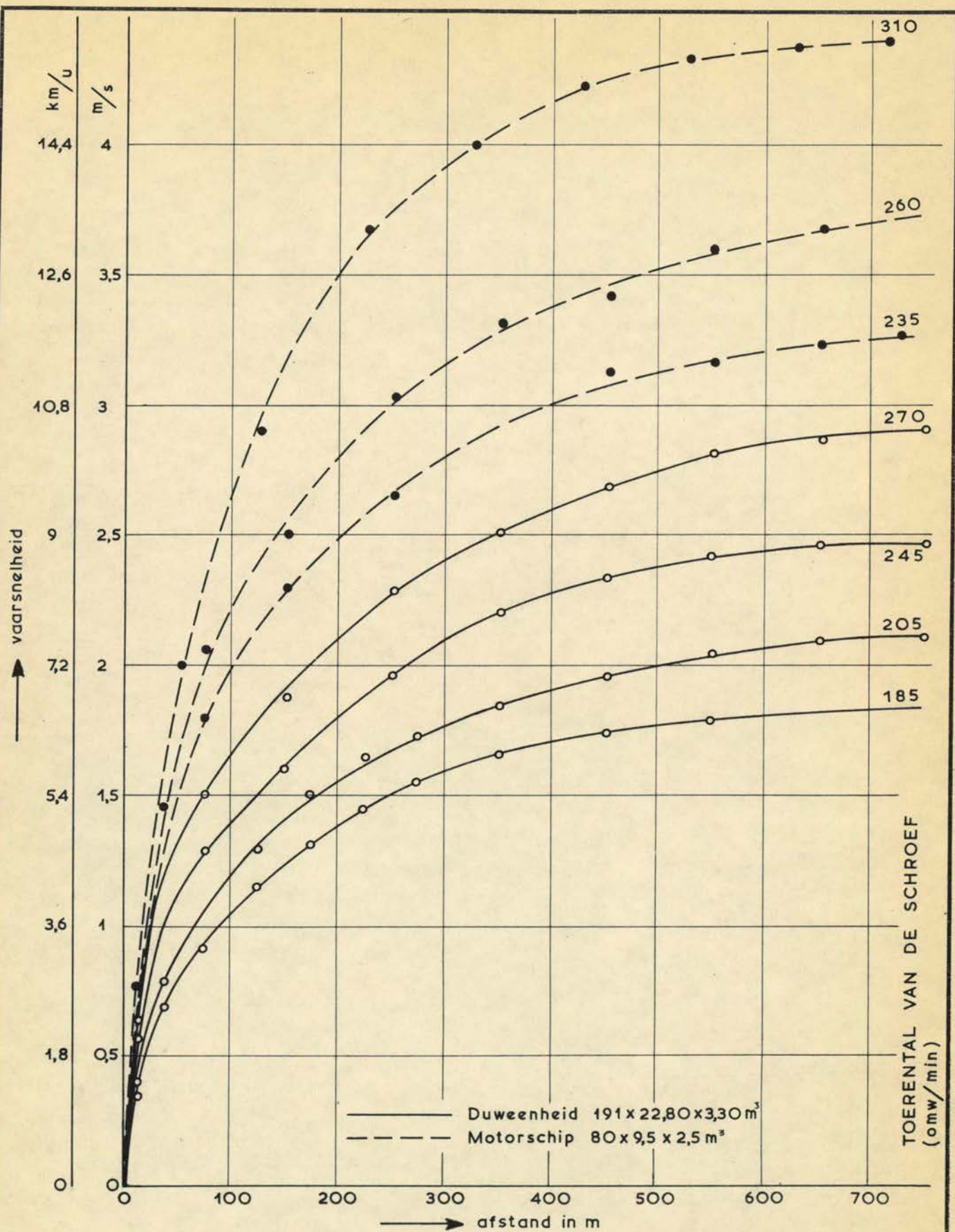
ACCELERATIEVERMOGEN MODELSCHEPEN  
 (tijd t.o.v. afgelegde weg)

DEEL I

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M.974/975

FIG. 45



Waterdiepte : ca. 6 m  
(grootheden uitgedrukt in prototype-maten)

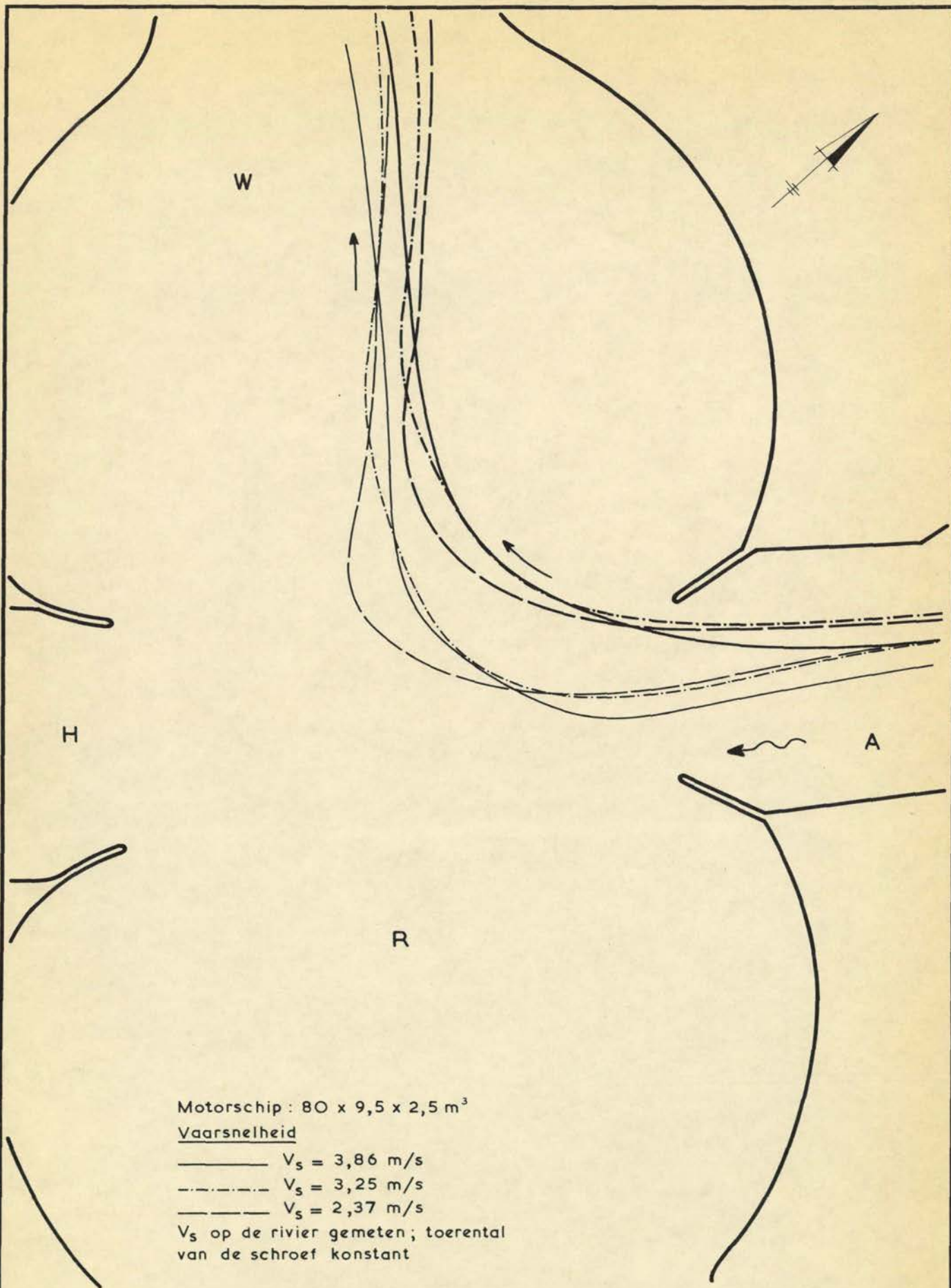
ACCELERATIEVERMOGEN MODELSCHEPEN  
(vaarsnelheid t.o.v. afgelegde weg)

DEEL I

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M. 974/975

FIG. 46



VAARBANEN VAN EEN AFSLAAND MOTORSCHIP  
 ( $Q_{LEK} = 825$  m<sup>3</sup>/s)

TO

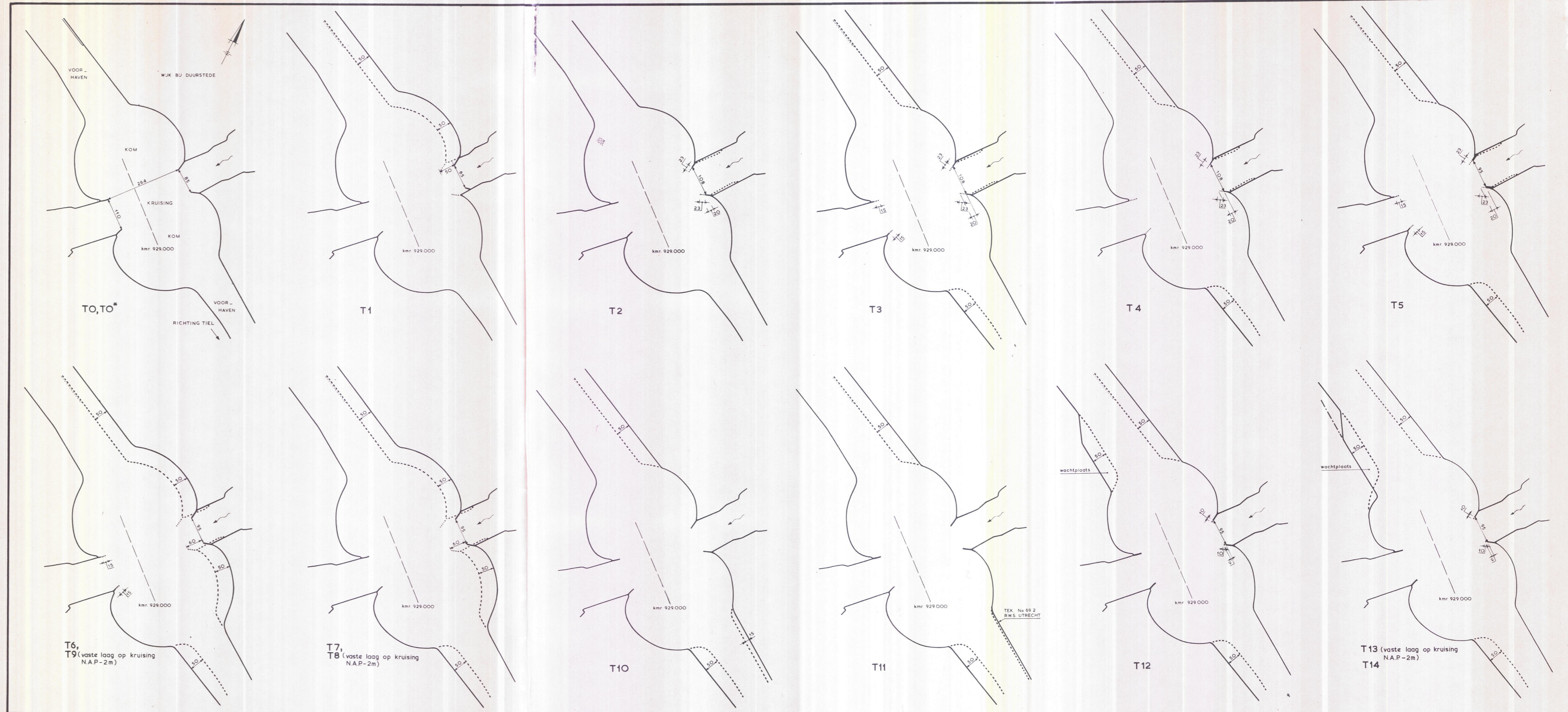
DEEL I

SCHAAL 1:2500

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M.974/975

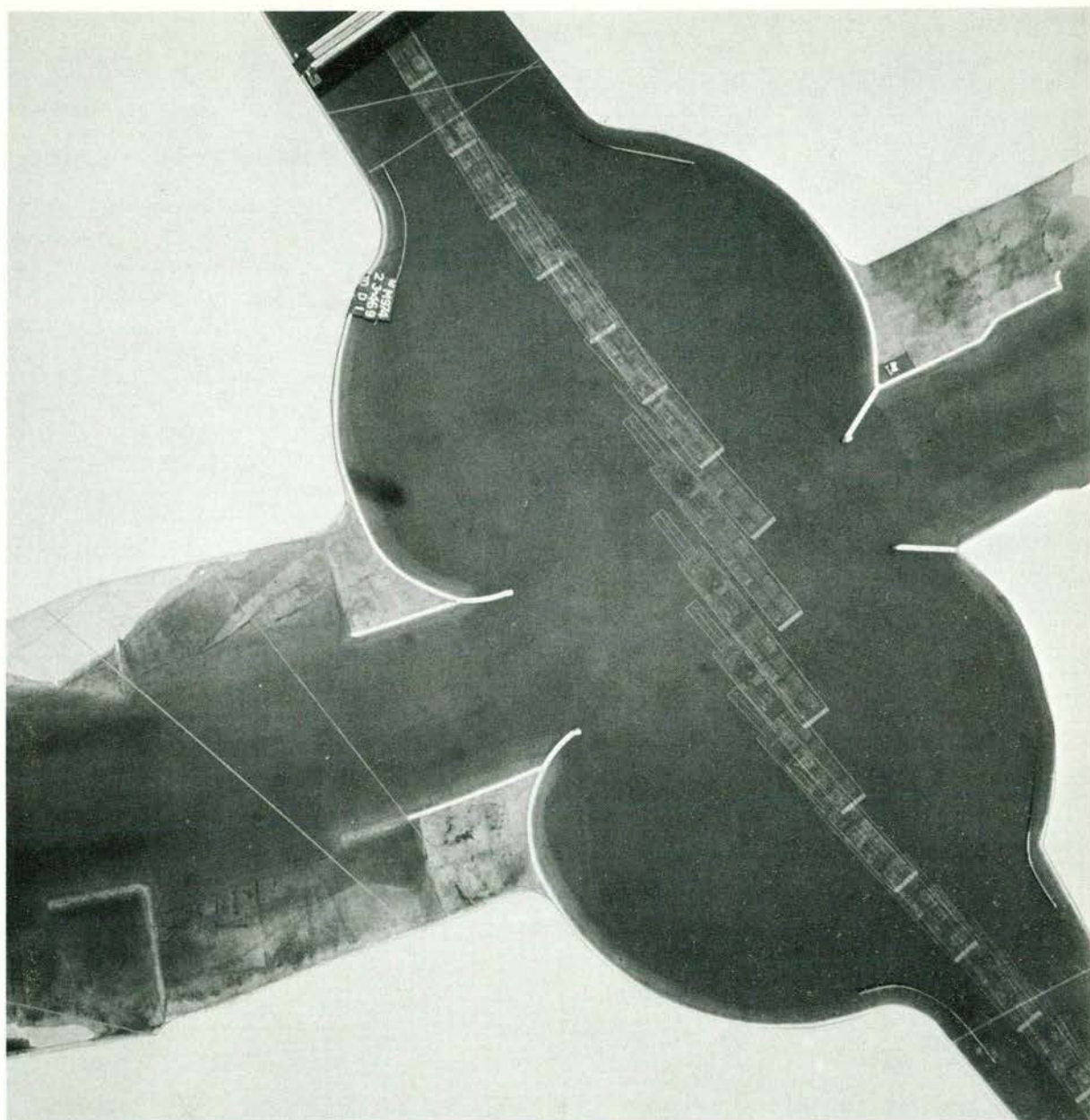
FIG. 47



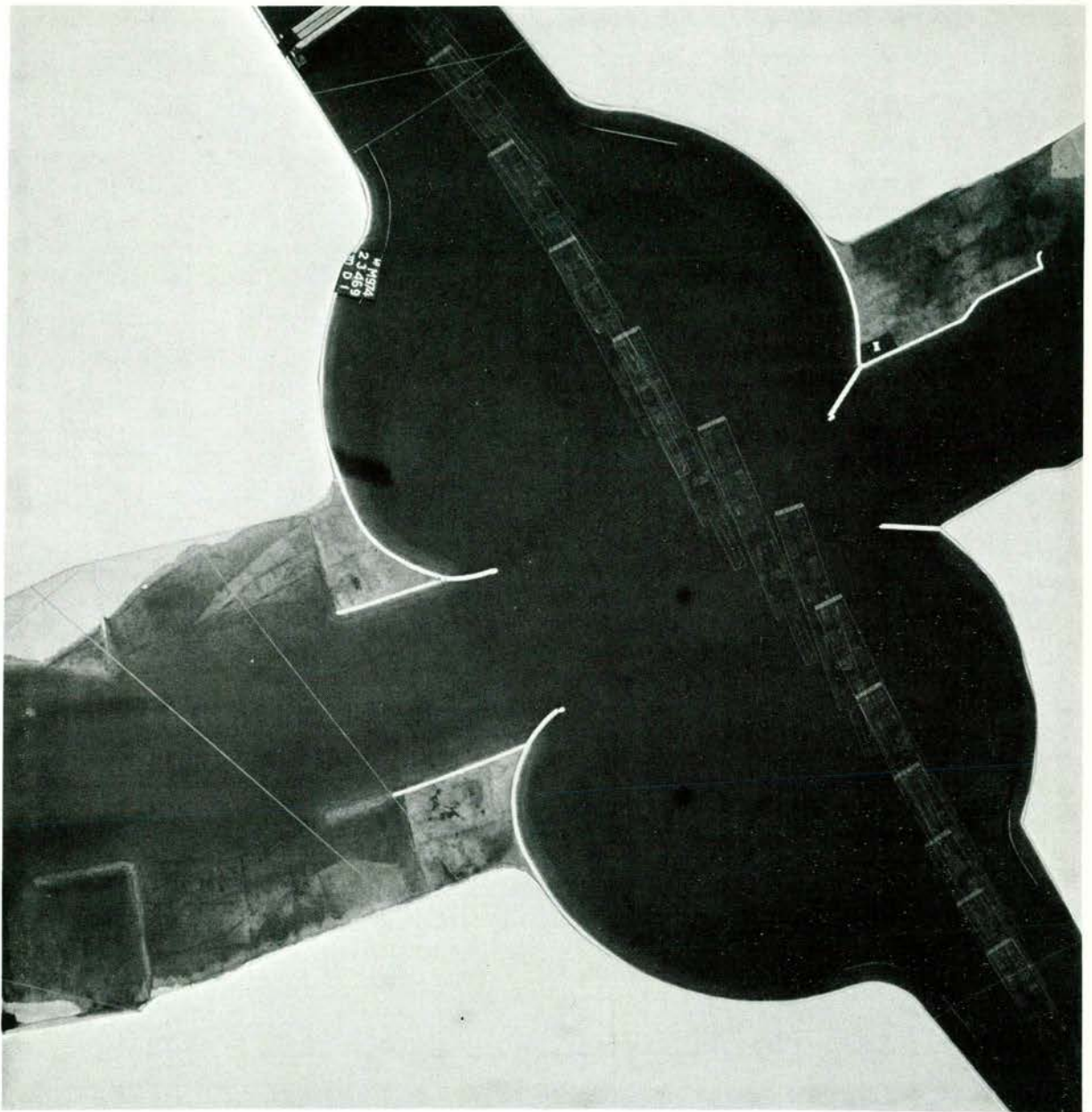
OVERZICHT ONDERZOCHE SITUATIES	DEEL I	
	SCHAAL 1:10.000	
WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM	M.974/975	FIG. 48

----- TO

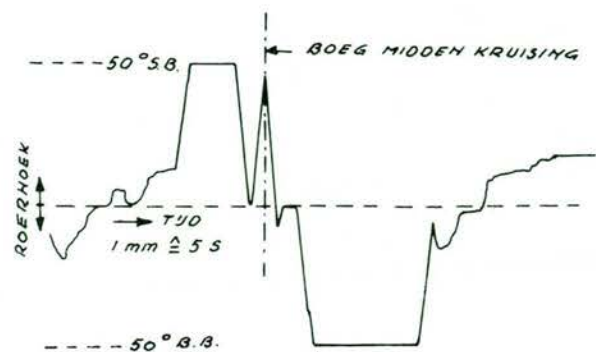
maten in m

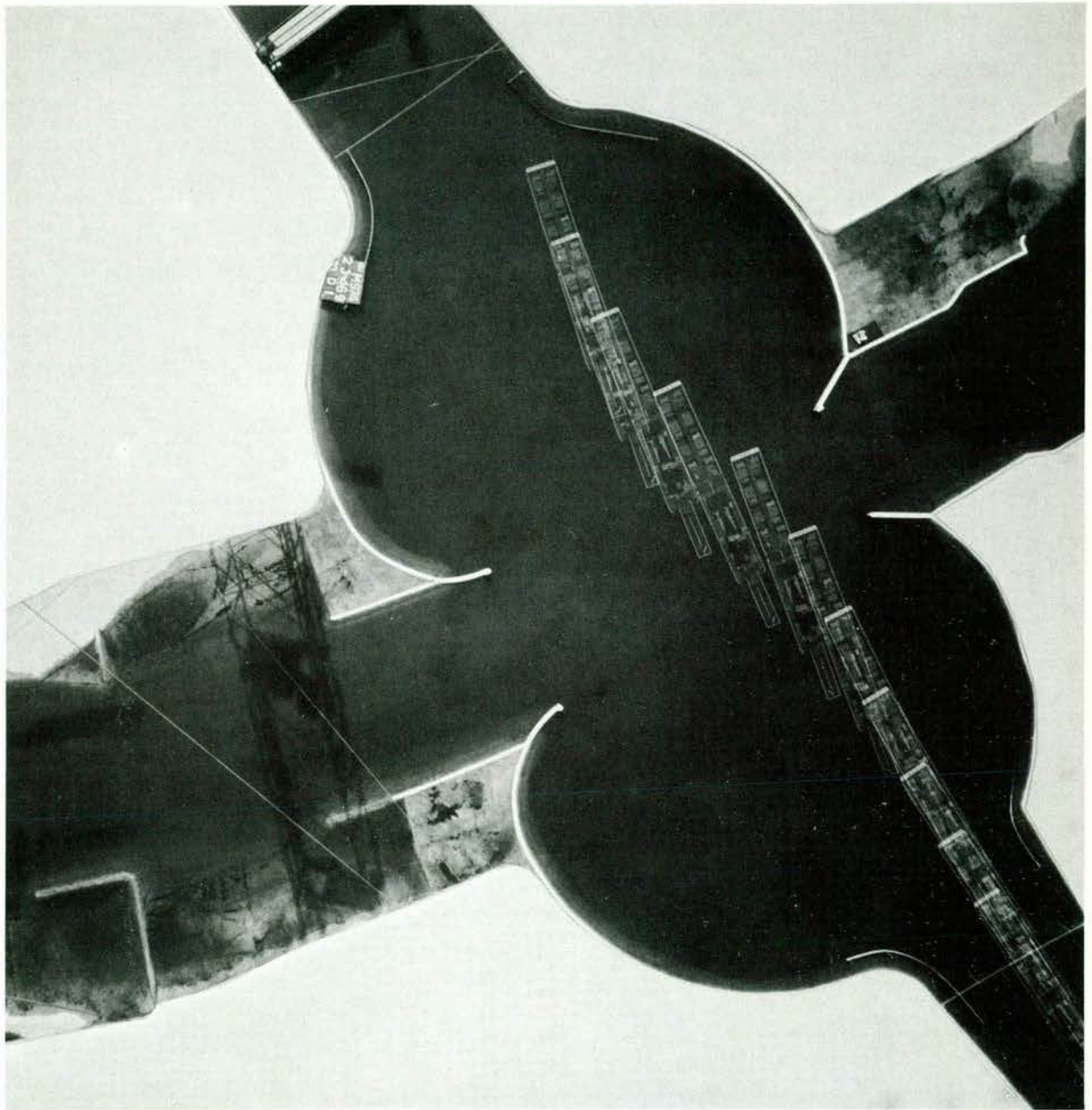


1. Oversteek duweenheid in de as (W-R)  
Afvoer  $Q = 825 \text{ m}^3/\text{s}$   $V_s = 2,2 \text{ m/s}$   
Schaal 1 : 5000

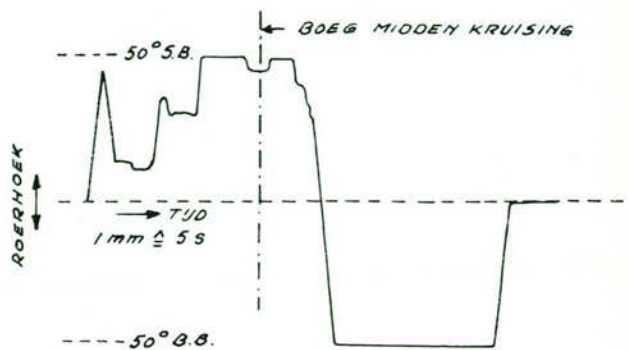


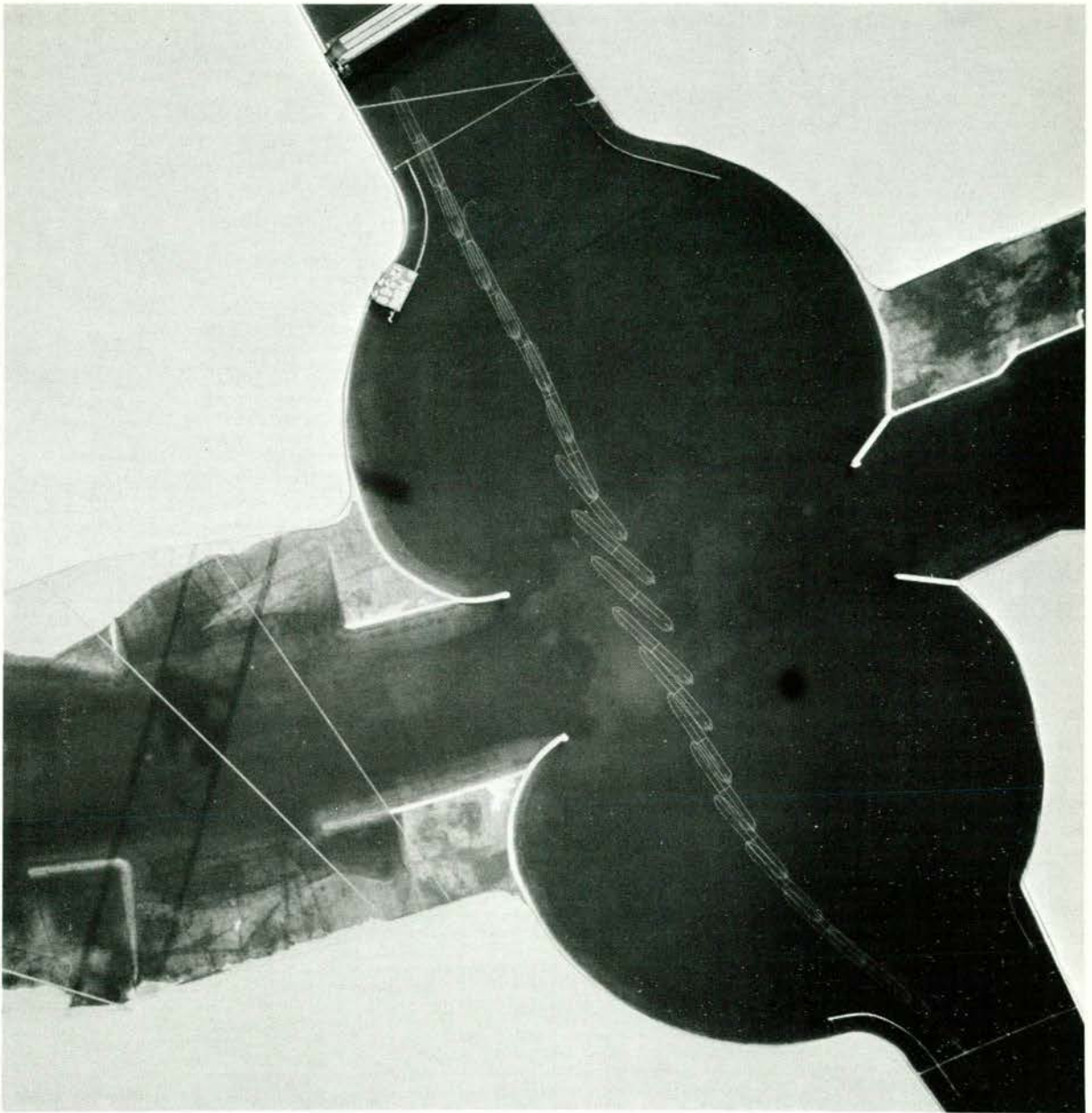
2. Oversteek duweenheid in de as (R-W)  
 Afvoer  $Q = 825 \text{ m}^3/\text{s}$   $V_s = 2,3 \text{ m/s}$   
 Schaal 1 : 5000





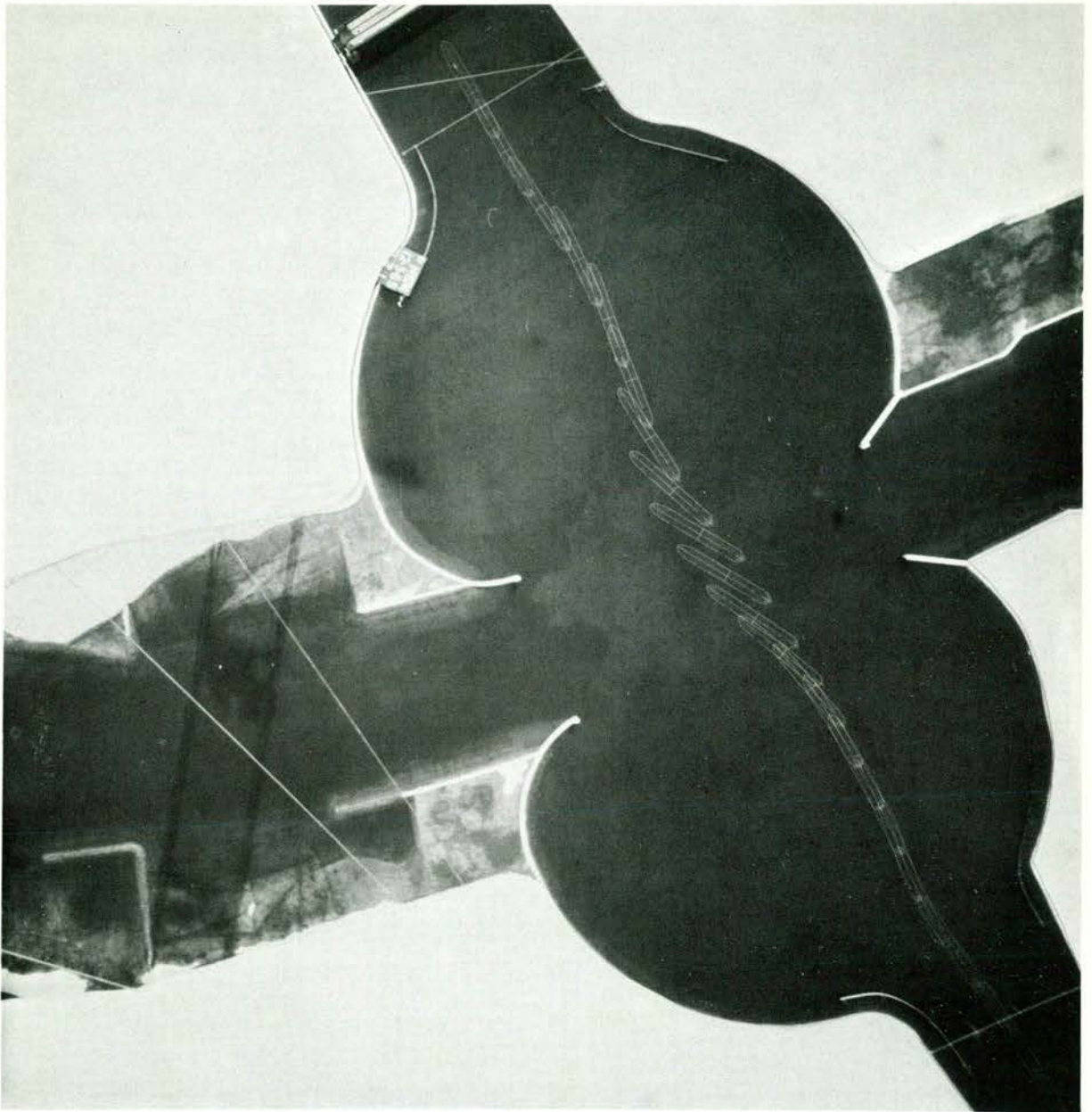
3. Doorzwaaien duweenheid (te laat tegenroer gegeven) bij oversteek (R-W)  
 Afvoer  $Q = 825 \text{ m}^3/\text{s}$   $V_s = 2,25 \text{ m/s}$   
 Schaal 1 : 5000



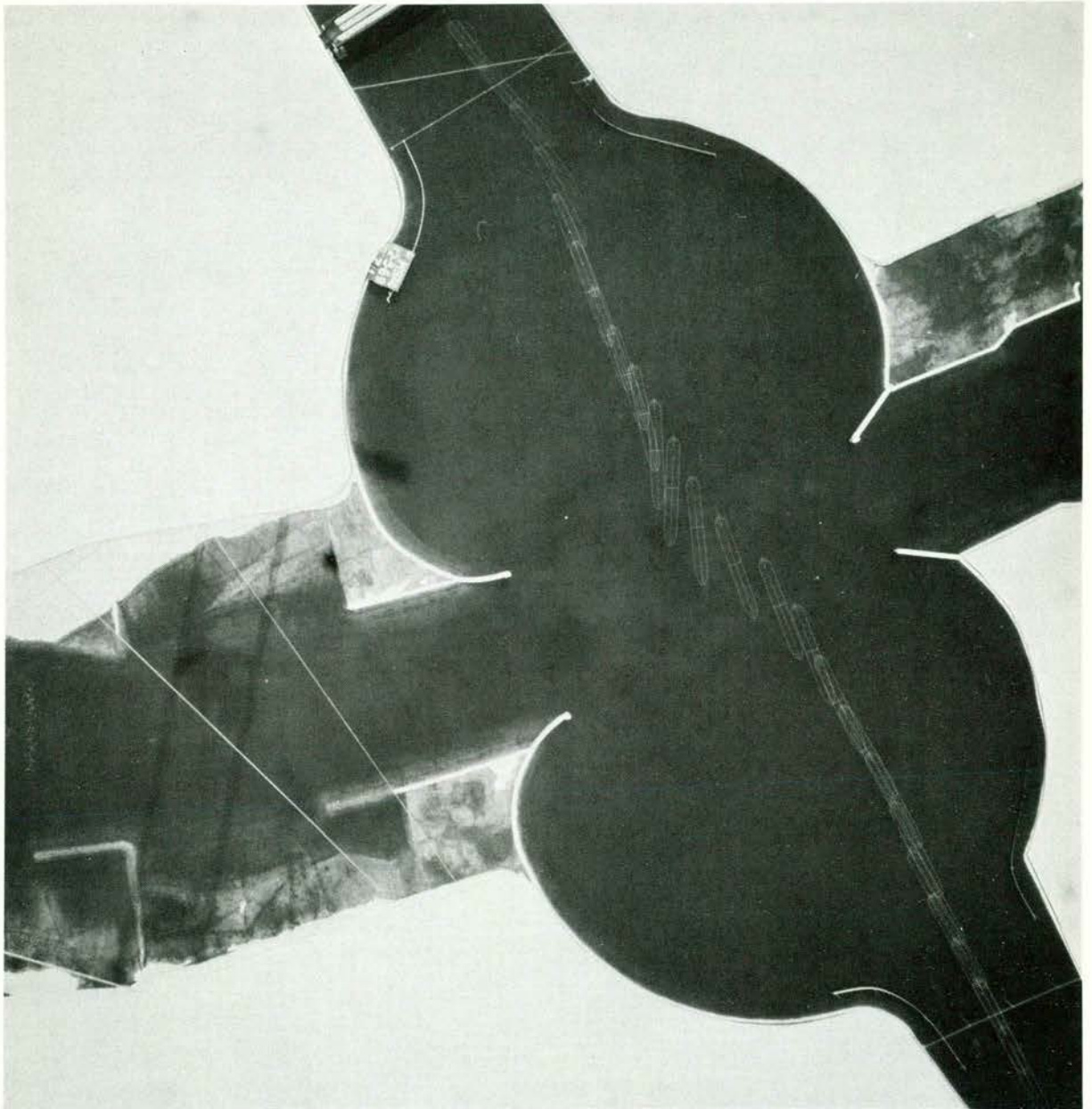


4. Oversteek motorschip onder evenwichtshoek (W-R)  
Afvoer  $Q = 825 \text{ m}^3/\text{s}$   $V_s = 2,7 \text{ m/s}$   
Schaal 1 : 5000

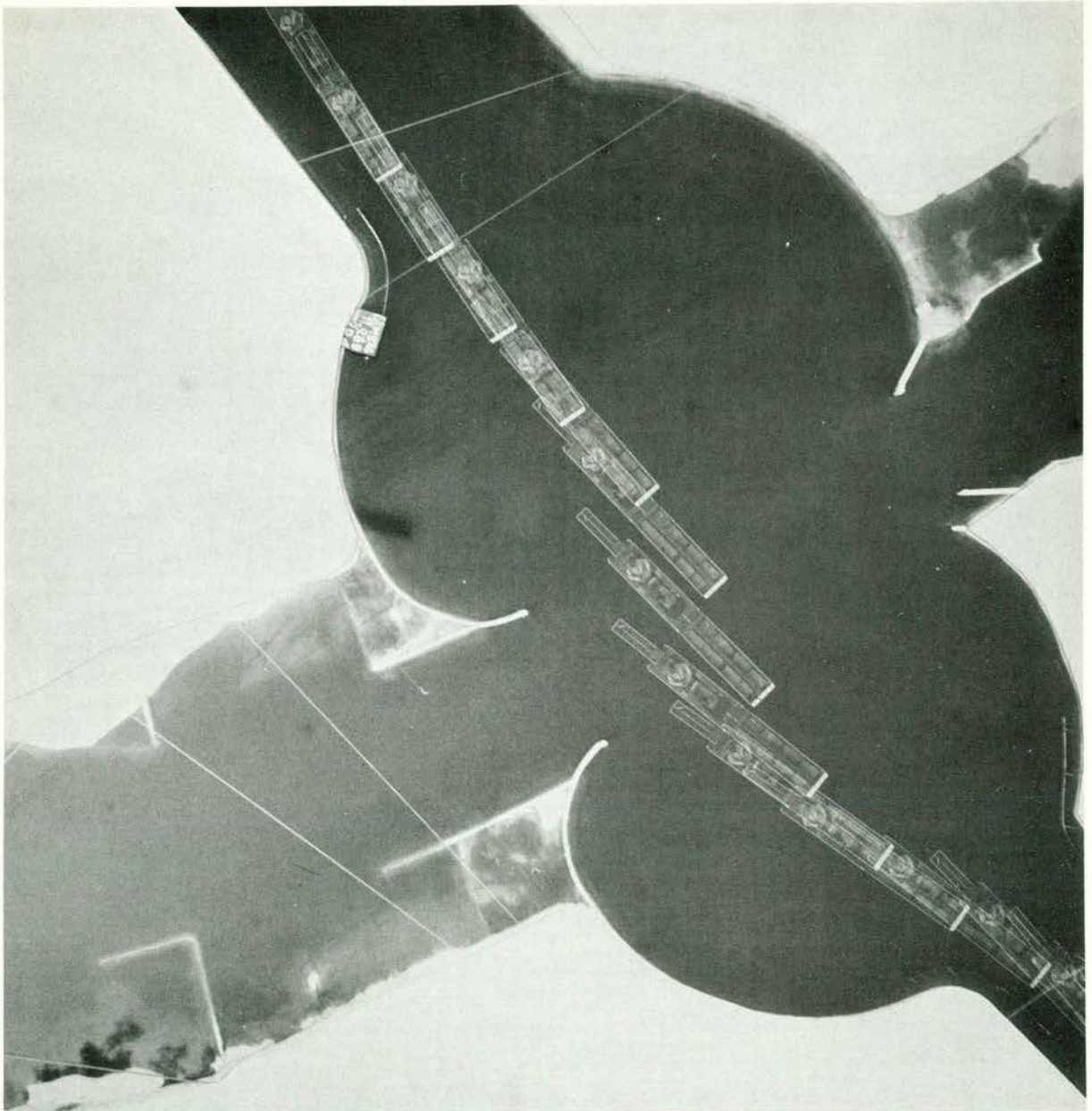




5. Oversteek motorschip met grote opstuurhoek (W-R)  
Afvoer  $Q = 825 \text{ m}^3/\text{s}$   $V_s = 3,0 \text{ m/s}$   
Schaal 1 : 5000



6. Oversteek motorschip met kleine opstuurhoek (W-R)  
Afvoer  $Q = 825 \text{ m}^3/\text{s}$   $V_s = 2,5 \text{ m/s}$   
Schaal 1 : 5000



7. Oversteek duweenheid op korte afstand van de pylonen (W-R)  
Afvoer  $Q = 825 \text{ m}^3/\text{s}$   $V_s = 2,6 \text{ m/s}$   
Schaal 1 : 5000



waterloopkundig laboratorium postbus 177 delft