

I R 840

waterloopkundig laboratorium

taludverdediging Nauw van Bath

aanval door waterbeweging tengevolge van
scheepvaart

AFGEHANDELD

verslag onderzoek

R 840

december 1974

31 DEC. 1974

BIBLIOTHEEK
Waterloopkundig Laboratorium
Postbus 177 - DELFT

taludverdediging Nauw van Bath

aanval door waterbeweging tengevolge van
scheepvaart

verslag onderzoek

R 840

december 1974

INHOUD

SYMBOLLEN

	blz.
<u>1 Inleiding en samenvatting.....</u>	1
1.1 Opdracht.....	1
1.2 Samenvatting van de belangrijkste conclusies.....	1
 <u>2 Theorie.....</u>	4
2.1 Scheepsgolven.....	4
2.2 Retourstroom en waterspiegeldaling.....	5
2.3 Berekeningen volgens de theorie van Schijf voor het Nauw van Bath.....	6
2.4 Waterbeweging achter het schip.....	6
2.5 Schaalkeuze en schaaffecten.....	7
 <u>3 Meetprogramma waterbeweging.....</u>	7
3.1 Beperkingen.....	7
3.2 Opstelling meetinstrumenten.....	8
3.3 Selectie uit te voeren meetvaarten.....	9
3.4 Uitvoering van het meetprogramma.....	10
3.5 Meetresultaten.....	11
 <u>4 Spreiding in de metingen van de volgstroom boven de taluds....</u>	11
 <u>5 Waterbeweging boven de taluds.....</u>	12
5.1 Kritische beschouwing van de meetresultaten.....	12
5.2 Maximale waarden van de waterbeweging boven de taluds.....	13
5.3 Invloed van diverse onafhankelijke variabelen op de maxi- maal gemeten waterbeweging.....	13
5.3.1 Algemeen.....	13
5.3.2 Invloed van de waterdiepte.....	14
5.3.3 Invloed van scheepstype en vermogen op de waterbeweging....	15
5.3.4 Invloed van de plaats van het schip in het dwarsprofiel (de offset).....	15
5.4 Verloop van de waterbeweging boven de taluds.....	16
5.5 Invloed van de taludhelling op de volgstroom.....	17
5.6 Weergave van een aantal metingen.....	17
5.7 Samenvatting.....	18

INHOUD (vervolg)

<u>6</u>	<u>Bruikbaarheid (voor het Nauw van Bath) van resultaten van het</u>	
	<u>onderzoek Schelde-Rijnverbinding.....</u>	<u>19</u>
6.1	Waterbeweging.....	19
6.2	Schade aan stortsteen.....	20
<u>7</u>	<u>Aanbevelingen voor aanvullend onderzoek.....</u>	<u>22</u>

LITERATUUR

TABELLEN

FIGUREN

BIJLAGE 1

TABELLEN

- 1 Berekende gemiddelde retourstroom en waterspiegeldaling naast de tanker
- 2 Berekende gemiddelde retourstroom en waterspiegeldaling naast het containerschip
- 3 Maximaal gemeten retourstroom en waterspiegeldaling naast de tanker
- 4 Maximaal gemeten volgstroom en waterspiegelverhoging achter de tanker
- 5 Maximaal gemeten retourstroom en waterspiegeldaling naast het containerschip
- 6 Maximaal gemeten volgstroom en waterspiegelverhoging achter het containerschip
- 7 Vergelijking van metingen in het model van de Schelde-Rijnverbinding ($n_l = 87,5$) met die in het model van het Nauw van Bath ($n_l = 55$)
- 8 Schade aan stortsteen in model Schelde-Rijnverbinding

FIGUREN

- 1 Primaire en secundaire scheepsgolven
- 2 Schets van de waterbeweging rond een varend schip
- 3 Gegeven mogelijkheden en beperkingen voor het modelonderzoek
Nauw van Bath
- 4 Opstelling meetinstrumenten
- 5 Vaarprogramma
- 6 en 7 Betrouwbaarheidsinterval voor watersnelheden boven het talud
- 8 Overzicht dwarsprofiel
- 9 Invloed van de waterdiepte op de waterbeweging naast het schip
- 10 Invloed van de waterdiepte op de waterbeweging achter het schip
- 11 Invloed van het vermogen op de waterbeweging naast het schip
- 12 Invloed van het vermogen op de waterbeweging achter het schip
- 13 en 14 Invloed van de plaats van het schip in het dwarsprofiel op de waterbeweging
- 15 Invloed van de diepte onder het wateroppervlak op de volgstroom
- 16 en 17 Invloed van de afstand tot de oeverlijn op de watersnelheden
- 18 en 19 Invloed van de afstand tot de oeverlijn op de waterspiegelveranderingen
- 20 Verband tussen waterspiegeldaling en volgstroom
- 21 Waterbeweging boven talud 1 : 10 bij de tanker
($h/T = 1,2$; $n = 150$ omw/min)
- 22 Waterbeweging bij de tanker ($h/T = 1,1$; $n = 150$ omw/min)
- 23 Waterbeweging bij het containerschip ($h/T = 1,4$; $n = 101$ omw/min)
- 24 Waterbeweging bij het containerschip ($h/T = 1,2$; offset 1; $n = 101$ omw/min)
- 25 Waterbeweging bij het containerschip ($h/T = 1,2$; offset 2; $n = 101$ omw/min)
- 26 Waterbeweging bij het containerschip ($h/T = 1,2$; offset 3; $n = 101$ omw/min)
- 27 Waterbeweging bij het containerschip ($h/T = 1,2$; offset 4; $n = 101$ omw/min)
- 28 Waterbeweging bij het containerschip ($h/T = 1,2$; offset 5; $n = 101$ omw/min)
- 29 Waterbeweging bij het containerschip ($h/T = 1,2$; offset 5; $n = 81$ omw/min)
- 30 Waterbeweging bij het containerschip ($h/T = 1,1$; offset 1; $n = 101$ omw/min)
- 31 Waterbeweging bij het containerschip ($h/T = 1,1$; offset 5; $n = 101$ omw/min)
- 32 Afmetingen van dwarsprofielen en meetopstellingen in de modellen
van de Schelde-Rijnverbinding en het Nauw van Bath
- 33 Invloed van de plaats van het schip op de meetresultaten in het
model van de Schelde-Rijnverbinding ("N.A.P. - 2 m") en dat van
het Nauw van Bath ($h/T = 1,2$)

SYMBOLLEN

a	Plaats van het schip in het dwarsprofiel (dimensieloos)
B	Breedte schip (m)
B_1	Maat voor de plaats van het schip in het dwarsprofiel (zie figuur 8) (m)
F	Natte dwarsdoorsnede van het kanaal (m^2)
F_1	Maat voor de natte dwarsdoorsnede van het kanaal tussen schip en oever (zie figuur 8) (m^2)
g	Zwaartekrachtversnelling (m/s^2)
h	Waterdiepte in midden kanaal (m)
L	Lengte schip (m)
n	Toerental schroeven (omw/min)
n_1	Schaalfactor voor de lengteschaal (dimensieloos)
T	Diepgang schip (m)
TDW	Ton draagvermogen ("Ton Dead Weight")
V	Scheepssnelheid (m/s)
λ	Golflengte (m)

TALUDVERDEDIGING NAUW VAN BATH

AANVAL DOOR WATERBEWEGING TENGEVOLGE VAN SCHEEPVAART

1 Inleiding en samenvatting

1.1 Opdracht

In het Nederlandsch Scheepsbouwkundig Proefstation te Wageningen is een modelonderzoek uitgevoerd naar de nautische aspecten van de bochtafsnijding van het Nauw van Bath in de Westerschelde. Door de opdrachtgever, het Bouwbureau Schelde-Rijnverbinding van de Deltadienst van Rijkswaterstaat, werd het Waterloopkundig Laboratorium verzocht om een proevenprogramma op te stellen voor een onderzoek naar de waterbeweging boven de taluds in het kader van bovengenoemd modelonderzoek.

Tevens werd het Waterloopkundig Laboratorium verzocht de uit dat proevenprogramma verkregen gegevens nader uit te werken en te interpreteren. Tenslotte diende gezien te worden, in hoeverre gegevens uit het modelonderzoek van het Waterloopkundig Laboratorium M 1115-I, "Aantasting van dwarsprofielen in vaarwegen, deel I, Schelde-Rijnverbinding" [4] door omschaling te gebruiken waren als gegevens voor het ontwerpen van de taludverdediging van het Nauw van Bath.

In brief no. 4554 d.d. 4-12-1973 werd door het Bouwbureau Schelde-Rijnverbinding van de Deltadienst van Rijkswaterstaat aan het Waterloopkundig Laboratorium opdracht verleend tot het uitvoeren van de bovenomschreven werkzaamheden. Deze werkzaamheden zijn uitgevoerd in het Laboratorium De Voorst door ir. E.J. van de Kaa, die tevens dit verslag samenstelde.

1.2 Samenvatting van de belangrijkste conclusies

Alvorens in te gaan op de resultaten die in dit verslag nader zullen worden besproken, dient te worden vermeld dat bij het onderzoek geen rekening is gehouden met de stroomsnelheden die in het Nauw van Bath optreden onder invloed van het getij. Dit betekent dat de in het verslag vermelde waterbeweging die wordt opgewekt door een varende schip nog aanzienlijk kan worden versterkt door de getijbeweging.

Het onderzoek is uitgevoerd met een tanker van 90.000 TDW en een containerschip van 62.000 TDW. De bij het onderzoek toegepaste motorvermogens waren maximaal respectievelijk 30.000 pk en 60.000 pk.

Uit het onderzoek blijkt dat de hevigste waterbeweging optreedt bij het containerschip met maximaal vermogen. Lagere motorvermogens veroorzaken een minder hevige waterbeweging. Hogere vermogens zullen nog heviger waterbeweging geven dan reeds gemeten is. Voor het ontwerp van de taludverdediging is daarom van groot belang met welk motorvermogen op de verschillende plaatsen in het dwarsprofiel rekening moet worden gehouden. Voor onderstaande conclusies is rekening gehouden met een vermogen van 60.000 pk van het containerschip voor alle onderzochte offsets (afstanden van schip tot kanaalas).

a) Wanneer het schip het dichtst bij het talud vaart, moet op de hoogste waarden voor retourstroom en waterspiegeldaling worden gerekend. Afhankelijk van de plaats van het containerschip in het dwarsprofiel worden nabij de waterspiegel maximale waarden voor de retourstroom van 1,2 tot 2,5 m/s bereikt (met plaatselijk uitschieters tot 3,0 m/s). Nabij de teen van het talud zijn deze waarden 0,7 tot 1,7 m/s. De waterspiegeldaling varieert tussen 1,0 en 1,8 m nabij de oever (met een uitschieter tot 2,4 m) en tussen 0,8 en 1,4 m boven de teen van het talud.

b) Boven het talud kan de volgstroom hoge waarden bereiken, maar dat is beperkt tot een zone van twee à vier meter onder de waterspiegel. Ook schepen, die op een flinke afstand (ca. 100 m) uit de teen van het talud varen, blijken hoge snelheden in de volgstroom te kunnen veroorzaken. Op een diepte van 2,2 m onder de waterspiegel werden snelheden tot 2,2 m/s gemeten, en gezien het verloop van de volgstroom over het talud zijn op geringere diepten hogere waarden te verwachten. Voor de waterspiegelverhoging werden op dezelfde plaats waarden tot 1,6 m geconstateerd. Waarschijnlijk zijn deze hoge waarden een gevolg van interferenties van divergerende en transversale secundaire scheepsgolven met de primaire scheepsgolf (zie voor een verklaring van deze begrippen paragraaf 2.1).

c) De diepgang van de schepen is tijdens het onderzoek niet gevarieerd, maar de waterdiepte wel. Bij de tijdens het onderzoek gekozen waarden van de

onafhankelijke variabelen blijkt de waterdiepte slechts een geringe invloed op de waterbeweging te hebben. Voor zover verschillen worden geconstateerd, blijkt de waterbeweging bij toenemende waterdiepte af te nemen.

d) Boven talud 1 : 10 treden hogere waarden van de volgstroom op dan, bij gelijke waterspiegeldaling, boven talud 1 : 4. Wanneer het schip dicht langs de teen van het talud vaart (offset 1 en 5) zal de hoeveelheid water tussen schip en oever bij talud 1 : 10 groter zijn dan bij talud 1 : 4.

Daardoor zal, onder overigens gelijke randvoorwaarden, de waterspiegeldaling boven talud 1 : 10 geringer zijn dan boven talud 1 : 4. Bij de uitgevoerde proeven resulteerden deze verschijnselen in het algemeen in maximale volgstroomsnelheden, die boven talud 1 : 4 hoger waren dan boven talud 1 : 10. Overigens dient opgemerkt te worden dat het talud 1 : 10 in het model onbeperkt naar boven doorloopt, in afwijking van het prototype waar het plaatselijk slechts tot NAP + 1 à 3 m doorloopt (Verdronken Land van Saeftinge).

Omschaling van gegevens uit onderzoek M 1115-I (Schelde-Rijnverbinding) geeft de indruk, dat "stortsteen 2100/8600" (s.g. 2650 kg/m^3) nauwelijks schade ondervindt van een containerschip met ca. 65.000 pk motorvermogen. Aan "stortsteen 400/3400" treedt bij dit motorvermogen wel schade op, behalve wanneer in het kanaalmidden wordt gevaren. Motorvermogens van ca. 35.000 pk geven ook aan deze stortsteen geen schade meer. De schade neemt toe bij toenemende vermogens. Hoofdzakelijk vindt de schade plaats in een zone tot ca. 4 m (vertikaal) onder de waterspiegel, waarbij de stortsteen in de vaarrichting wordt verplaatst. De volgstroom was bij deze metingen verantwoordelijk voor de schade. Op een diepte van meer dan 9 m onder de waterspiegel trad nergens schade op. Deze uit omschaling verkregen gegevens hebben hooguit indicatieve waarde.

Gezien de betrekkelijk smalle zone onder de waterspiegel waarin de hoge waarden voor de volgstroom - en de in model M 1115 geconstateerde schade aan de stortsteen - optraden, kan voor de oeververdediging gedacht worden aan een constructie, die nabij de waterspiegel zwaarder is dan bij de teen van het talud. De door de getijwerking sterk wisselende waterstanden in het Nauw van Bath maken dat de zwaar verdedigde zone op de taluds toch over een flinke hoogte moet worden aangebracht. Wordt voor twee verschillende constructies gekozen, dan kan natuurlijk voor de constructie van het talud, dat steeds meer

dan bijvoorbeeld 4 m onder de waterspiegel blijft, rekening worden gehouden met de waarden die daar voor de retourstroom optreden en die lager zijn dan de waarden die in het gebied juist onder de waterspiegel werden gemeten. Tenslotte kan worden gewezen op de mogelijkheid nabij de oever het talud 1 : 10 een steiler beloop te geven, waardoor het oppervlak van het zwaar verdedigde taludgedeelte in aanzienlijke mate kan worden beperkt.

2 Theorie

2.1 Scheepsgolven

Bij een varend schip moet water van voor de boeg naar achteren worden verplaatst. Daardoor ontwikkelt zich een potentiaalstroming rondom het schip (afgezien van wrijving en loslaatpunten langs de scheepshuid). Deze potentiaalstroming heeft rond het schip een spiegel daling tengevolge, terwijl voor de boeg en achter het hek een verhoging van de waterspiegel ontstaat. De aldus ontstane verstoring van de waterspiegel, die zich met de scheepssnelheid voortbeweegt, noemt men het primaire golfsysteem van het schip of de primaire scheepsgolf.

De bovengenoemde potentiaalstroming heeft op water met onbeperkte breedte en diepte een driedimensionaal karakter. Neemt de waterdiepte af, dan wordt de stroming meer tweedimensionaal, terwijl de snelheden daarin toenemen. Is de vaarweg ook in breedterichting beperkt, dan neemt de stroomsnelheid nog verder toe (uiteraard voor gelijkblijvende scheepssnelheid), terwijl in een richting loodrecht op de scheepsas de snelheid steeds gelijkmatiger wordt. Daarmee samenhangend neemt de gradiënt in de waterspiegel loodrecht op de scheepsas af. Een en ander wordt in figuur 1 verduidelijkt.

Deze primaire verstoring van het wateroppervlak wekt een tweede systeem van golven op, de secundaire scheepsgolven. Voor een groot deel wordt de vorm van dit golfsysteem bepaald door de drukpieken bij de boeg en het hek van het schip. Ook drukpieken op andere plaatsen langs de scheepshuid, bijvoorbeeld tussen de bakken van een duweenheid, kunnen dit golfsysteem sterk beïnvloeden. Door Kelvin is een beschrijving van dit golfsysteem gegeven voor een afzonderlijk bewegende drukpiek (zie figuur 1). Bij deze secundaire scheepsgolven worden divergerende en transversale golven onderscheiden. Op de snijpunten van beide golfsystemen versterken divergerende en transversale golven elkaar, zodat interferentiepieken ontstaan.

Deze pieken liggen op de in figuur 1 aangegeven lijnen, die een hoek van ca. 20° met de voortbewegingsrichting van de drukpiek maken. Althans, voor voldoende lage Froudegetallen, betrokken op de waterdiepte en de snelheid van de drukpiek. Wanneer dat Froudegetal groter wordt dan ca. 0,7, wordt deze hoek groter tot bij een Froudegetal 1 een waarde van 90° is bereikt.

De secundaire scheepsgolven gedragen zich als trochoïdale golven. De golflengte van de transversale golven wordt bepaald door de scheepssnelheid ($V = \sqrt{g\lambda/2\pi}$). Terwijl het primaire golfsysteem qua afmeting geheel aan het schip gebonden is (waterspiegelverhoging bij de boeg en het hek, daartussen waterspiegeldaling), lopen de secundaire scheepsgolven tot ver achter het schip door.

2.2 Retourstroom en waterspiegeldaling

Door Krey [2] is een theorie opgesteld om de waterspiegeldaling en retourstroom te berekenen, die optreden bij de vaart van schepen op kanalen met beperkte breedte en diepte. De berekeningswijze heeft alleen betrekking op de primaire scheepsgolf: secundaire scheepsgolven worden verwaarloosd. Deze theorie is nader uitgewerkt en uitgebreid door Schijf [3 en 5].

Bij deze theorie wordt uitgegaan van een met het schip meebewegend assenkruis. Ten opzichte van dat assenkruis gedraagt het schip zich als een obstakel in stromend water (zoals een pijler in een rivier). De snelheid van het stromend water is daarbij gelijk aan de snelheid van het schip ten opzichte van een vast assenstelsel. Spiegeldaling en retourstroom in het kanaal ter plaatse van de door het schip veroorzaakte vernauwing kunnen dan worden bepaald met de vergelijking van Bernoulli en de continuïteitsvoorwaarde. Voor een wat uitvoeriger beschrijving van deze theorie wordt verwezen naar het verslag M 1115-I van het Waterloopkundig Laboratorium [4].

Volgens Hay [1] gaat bovengenoemde theorie goed op indien de verhouding tussen grootste dwarsdoorsnede schip en natte doorsnede van de vaarweg groter dan 0,08 is. Bij kleinere waarden van deze verhouding kunnen meer of minder grote afwijkingen van de theorie optreden.

Een verdere beperking van de theorie is, dat zij slechts geldt voor schepen, die ter plaatse van de kanaalas varen. Ook kan met behulp van deze theorie alleen het gemiddelde van spiegeldaling en retourstroom over het gehele kanaal-

profiel naast het schip tussen boeg en hek, worden bepaald. In het kader van het onderzoek "Aantasting van dwarsprofielen in vaarwegen" wordt gewerkt aan de ontwikkeling van mathematische modellen, die deze bezwaren tenminste gedeeltelijk ondervangen. Op dit moment bevinden deze modellen zich echter nog in een experimenteel stadium, zodat ze voor dit onderzoek niet bruikbaar zijn.

2.3 Berekeningen volgens de theorie van Schijf voor het Nauw van Bath

Om een globale indruk te krijgen van waterspiegeldaling en retourstroom, is voor de bij het modelonderzoek optredende situaties en scheepssnelheden een berekening uitgevoerd volgens de theorie van Schijf. Zoals gesteld in de vorige paragraaf wordt hiermee de retourstroom en de spiegeldaling berekend, gemiddeld over het kanaalprofiel naast het schip tussen boeg en hek. Met de invloed van het buiten de kanaalas varen is dus geen rekening gehouden.

De resultaten van deze berekeningen zijn opgenomen in tabellen 1 en 2. Naast een eerste indruk van de te verwachten waterbeweging naast het schip geven deze tevens de maximaal te verwachten scheepssnelheid (grenssnelheid volgens Schijf, zie o.a. [4]).

Daar zowel in langsrichting van als loodrecht op het schip de snelheid en spiegeldaling niet constant zijn, zullen de maximaal gemeten waarden groter zijn dan de gemiddelde waarden. Daardoor kunnen dicht langs het talud varende schepen boven het talud plaatselijk snelheden en spiegeldalingen veroorzaken die wel driemaal de volgens de theorie van Schijf berekende waarden kunnen bereiken (zie ook M 1115-I [4]).

2.4 Waterbeweging achter het schip

Bij snelvarende schepen treedt achter het schip een zeer gecompliceerde waterbeweging op. Het in de retourstroom tegen de vaarrichting in bewegende water moet plotseling tot stilstand komen. Dit verschijnsel gaat gepaard met een verhoging van de waterstand ter plaatse.

Doordat in het gebied achter het schip een grote hoeveelheid water moet vertragen, is de waterbeweging daar zeer turbulent. Het beeld wordt nog verder verstoord door de secundaire scheepsgolven, die met de bovengenoemde verschijnselen kunnen interfereren (zie paragraaf 2.1).

Achter het schip kan boven het taludgedeelte, dat door de spiegeldaling droogvalt, het benodigde water voor de plotselinge waterspiegelverhoging niet door de retourstroom worden geleverd. Daar kan het water alleen van achter het schip over de taluds worden aangevoerd. De volgstroom kan daar dientengevolge zeer hoge snelheden bereiken. Blijkens de in dit rapport besproken proeven kwamen in het Nauw van Bath tot honderden meters achter het hek van de schepen nog hoge snelheden voor.

Om de bovenomschreven beschouwingen wat te verduidelijken, is in figuur 2 een schets van de naast en achter een schip te verwachten watersnelheden (ten opzichte van de kanaalbodem) gegeven. Uiteraard geeft deze schets niet het juiste stroombeeld, daar alleen stroomsnelheden in de lengterichting van het kanaal worden gegeven.

2.5 Schaalkeuze en schaaleffecten

Het onderzoek is verricht in een model op schaal 1 : 55. Voor de gemeten verschijnselen zijn de schaalregels volgens Froude toegepast. Verwacht mag worden dat de meetresultaten niet van betekenis zullen zijn beïnvloed door schaaleffecten.

3 Meetprogramma waterbeweging

3.1 Beperkingen

Het programma voor het meten van de waterbeweging moest worden ingepast in het modelonderzoek naar de nautische aspecten van de bochtafsnijding bij Bath, zoals dat in het Nederlandsch Scheepsbouwkundig Proefstation werd uitgevoerd. De te gebruiken meetinstrumenten konden tijdens de metingen alleen boven de taluds worden geplaatst. De rest van het dwarsprofiel moest vrijblijven in verband met het in dwarsrichting verplaatsen van de modelboten.

Modelboten waren een tanker (90.000 TDW) en een containerschip (62.000 TDW). De modelboten werden tijdens deze proeven met een automatische piloot langs een rechte lijn gestuurd. De hoofdafmetingen van deze boten worden in figuur 3 gegeven.

Voor de uit te voeren meetvaarten ("runs") kon een selectie worden gemaakt uit een beperkt aantal waterdiepten (waterdiepte-diepgangverhoudingen), offsets (afstanden van schip tot kanaalas), en snelheden (schroeftoerentallen). De diepgang van de modelboten werd niet gevarieerd. Het instellen van debieten door het kanaal was niet mogelijk.

Een overzicht van de in deze paragraaf vermelde beperkingen wordt gegeven in figuur 3. Mede aan de hand van deze gegevens is het in de volgende hoofdstukken beschreven meetprogramma samengesteld.

3.2 Opstelling meetinstrumenten

Zoals gemeld in de voorgaande paragraaf konden alleen in het kanaalgedeelte boven de taluds meetinstrumenten worden geplaatst. De meest hevige waterbeweging valt te verwachten boven het talud dat zich het dichtst bij het schip bevindt. Daar zijn dan ook de meeste meetinstrumenten geplaatst. Daarnaast zijn enige instrumenten geplaatst boven het andere talud, om ook een indruk van de waterbeweging aldaar te verkrijgen.

Blijkens onderzoek in het Waterloopkundig Laboratorium is de retourstroom meestal tamelijk gelijkmatig verdeeld over de snelheidsvertikaal. Achter het schip is, ook boven de taluds, echter sprake van grote verschillen in stroomsnelheid tussen het wateroppervlak en de bodem. Om een indruk te krijgen van het verloop van de watersnelheden langs het talud is een aantal snelheidsmeters zo dicht mogelijk boven het talud geplaatst. Daarnaast is op beide taluds een aantal golfhoogtemeters geplaatst om de waterspiegelveranderingen te meten.

Bovengenoemde overwegingen, gecombineerd met de wens het aantal instrumenten tot maximaal 12 te beperken, leidde tot de in figuur 3 gegeven meetopstelling.

Voor de opstelling van de golfhoogtemeters is er van uitgegaan, dat onder extreme omstandigheden de waterspiegel 6 cm (model) zou kunnen zakken. Om dan nog steeds betrouwbaar te kunnen meten, is een minimale indompeling van 4 cm in het water gewenst. Bij de bovengenoemde spiegeldaling zal de bovenste micromolen tijdelijk droogvallen.

Behalve de waterbeweging werd geregistreerd de scheepssnelheid, het schroeftoerental, het moment dat het schip de meetraai passeert en de evenwichtsroeren -drifthoeken.

3.3 Selectie uit te voeren meetvaarten

Blijkens paragraaf 3.1 en figuur 3 kon een keuze worden gemaakt uit de volgende variabelen: a. de waterdiepte, gekoppeld aan een beperkt aantal waterdiepte-diepgang-verhoudingen; b. de scheepssnelheid; c. de offset (afstand van schip tot kanaalas).

Het aantal mogelijk te onderzoeken waterdiepten is 7. Eén waterdiepte (containerschip, $h/T = 2,0$) is echter zo groot (prototype: $h = 23,0$ m) dat onderzoek bij deze situatie dadelijk afvalt. Blijven over 6 waterdiepten, 3 voor de tanker en 3 voor het containerschip.

Van de mogelijke scheepssnelheden komt allereerst de maximaal te bereiken snelheid in aanmerking, die naar verwachting bij de gegeven omstandigheden de meest hevige belasting van de taluds zal geven. Daarnaast is onderzoek gewenst naar een lagere scheepssnelheid, die weliswaar een minder sterke, maar aanmerkelijk vaker optredende belasting zal geven. Voor de lagere snelheid werd gedacht aan ca. 90% van de maximaal te bereiken snelheid. Bij de laagste waterstanden ($h/T = 1,1$) zou het schip aan de grond kunnen lopen vóór de grenssnelheid volgens Schijf (de maximaal mogelijke snelheid van een schip in een kanaal, zie onder andere [4]) is bereikt. Daarom is voorgesteld in dat geval alleen die snelheid te onderzoeken waarbij het schip nog net niet aan de grond loopt. Daar verwacht kon worden dat het aan de grond lopen al ver vóór het optreden van deze grenssnelheid zou plaatsvinden, leek onderzoek naar nog lagere snelheden in dit geval niet opportuun, zodat hierbij volstaan is met onderzoek bij één scheepssnelheid.

Tenslotte werd het nuttig geacht, alle 5 mogelijke offsets te onderzoeken om een indruk te krijgen van de invloed van de afstand van schip tot oever op de waterbeweging boven de taluds. Hierbij diende offset 3 tweemaal te worden gegeven om op beide taluds met de volledige meetopstelling te kunnen meten. Tevens zou hierdoor enige indruk van de mate van reproduceerbaarheid van de proeven worden verkregen.

Uitvoering van het totale programma zou leiden tot 60 meetvaarten. Om een verantwoorde keuze te kunnen maken, is in figuur 5 een indeling van deze vaarten naar aflopende prioriteit gemaakt.

Het minimumprogramma (voor containerschip en tanker totaal 12 vaarten) gaat uit van de in de praktijk het meest frequent te verwachten waterstanden. De scheepssnelheid wordt zo hoog mogelijk genomen en het aantal offsets tot 3 beperkt. Indien geen aanvullingen op dit programma zouden worden uitgevoerd, zou door berekeningen, interpolatie en extrapolatie moeten worden getracht waarden voor andere offsets, waterdiepten en scheepssnelheden te vinden.

Door het minimumprogramma uit te breiden met de aanvullingen I ... IV (22 vaarten) komen meetresultaten beschikbaar bij andere waterstanden, scheepssnelheden en offsets. De gemeten waarden voor waterspiegelveranderingen en watersnelheden zijn uiteraard veel betrouwbaarder dan de uit extrapolaties en berekeningen gevonden waarden, zodat aan deze uitbreidingen grote waarde moet worden toegekend. Met behulp van deze gegevens zijn de mogelijkheden voor extrapolatie en interpolatie naar andere waterstanden, scheepssnelheden en vermogens groter.

De aanvullingen V ... VII (26 vaarten) geven een nog verder gaande verfijning van de gevonden resultaten. Hoewel uitvoering van deze vaarten zeker nuttig was geweest, is uit kostenoverwegingen in overleg met Rijkswaterstaat en het Nederlandsch Scheepsbouwkundig Proefstation besloten af te zien van het uitvoeren van deze proeven.

Bij het overleg over het bovenstaande programma met het Nederlandsch Scheepsbouwkundig Proefstation werd om modeltechnische redenen besloten om, in plaats van snelheden, toerentallen van de modelschroeven in te stellen. In plaats van 90 % van de maximumsnelheid werd afgesproken 80 % van het maximaal beschikbare toerental in te stellen. Daarbij kan bij benadering worden gesteld, dat 80 % van het maximaal beschikbare toerental overeenkomt met 50 % van het bij dat toerental behorende motorvermogen.

3.4 Uitvoering van het meetprogramma

Voor een beschrijving van de meetopstelling en de uitgevoerde proeven wordt verwezen naar Rapport no. 72-0023-2-GBT van het Nederlandsch Scheepsbouwkundig Proefstation, "Metingen van golfhoogtes en watersnelheden langs het talud van de bochtafsnijding bij Bath", Augustus 1973 [6].

3.5 Meetresultaten

De resultaten van de metingen zijn opgenomen in het in paragraaf 3.4 genoemde rapport. Deze meetresultaten zijn in tabelvorm en werden nog niet gecorrigeerd voor zogenaamde "nulverschuivingen", terwijl het tijdsinterval tussen de bemonsteringen van de meetinstrumenten te groot bleek. Bij brief van 1 november 1973 werd door het Nederlandsch Scheepsbouwkundig Proefstation aan het Waterloopkundig Laboratorium een nieuwe bewerking van de meetresultaten toegezonden (zie bijlage 1). In deze brief zijn enige aanvullende gegevens opgenomen. Bij de verdere bewerking en interpretatie van de meetgegevens is van deze laatste meetresultaten gebruik gemaakt.

De metingen, alsmede de uitvoer van de meetresultaten in tabelvorm, zijn onder verantwoordelijkheid van het Nederlandsch Scheepsbouwkundig Proefstation uitgevoerd. De mate van betrouwbaarheid van de diverse metingen en meetinstrumenten is beschreven in het in paragraaf 3.4 genoemde rapport en in bijlage 1 van het voorliggende rapport.

4 Spreiding in de metingen van de volgstroom boven de taluds

Recentelijk zijn in het kader van het onderzoek M 1115, "Aantasting van dwarsprofielen in vaarwegen", in het Waterloopkundig Laboratorium metingen gedaan naar de mate waarin de watersnelheden in de volgstroom achter het schip boven het talud reproduceerbaar zijn. Door visuele waarneming was namelijk de indruk ontstaan dat de snelheid van het golfsysteem juist achter of naast het hek van het schip (de "haalgolf") tijdens het varen schommelde om de scheepssnelheid. Dat leek gepaard te gaan met schommelingen in de hoogte van de golven.

Doordat de meetinstrumenten vast opgesteld staan op de taluds geven ze in feite een momentopname van spiegelveranderingen en watersnelheden. Bij de hierboven genoemde metingen zijn de scheepssnelheid, het toerental van de schroeven, de roer- en de drifthoek tijdens twee series van 10 proeven zoveel mogelijk constant gehouden. De schepen werden daarbij niet aangesleept, maar wel werden ze door een meetwagen een rechte baan opgelegd. Daarbij is op 4 plaatsen de watersnelheid boven het talud gemeten met micromolens. Deze micromolens werden dicht, respectievelijk zo diep mogelijk, onder de water-

spiegel geplaatst. De retourstroom werd niet gemeten omdat de micromolens dicht onder de waterspiegel droogvielen. Bij de diep onder de waterspiegel staande micromolens werd de retourstroom wel gemeten, maar niet uitgewerkt.

Van deze metingen is op een groot aantal tijdstippen het gemiddelde en de standaardafwijking bepaald. Hierbij werd een normale verdeling van de betreffende meetresultaten aangenomen. In de figuren 5 en 6 is het gemiddelde en een 95 % betrouwbaarheidsinterval (gemiddelde $\pm$ 2 maal de standaardafwijking) getekend. Indien gewenst kan een 68 % betrouwbaarheidsinterval worden bepaald door, in plaats van 2 x, de standaardafwijking 1 x uit te zetten ter weerszijden van het gemiddelde.

Uit de figuren 5 en 6 kunnen de volgende conclusies worden getrokken met betrekking tot snelheidsmetingen in de volgstroom boven taluds:

- grote fluctuaties in de gemeten waarden voor de volgstroom treden vooral op dicht bij het wateroppervlak (verschillen tussen onder- en bovengrens van het 95 % betrouwbaarheidsinterval tot 100 % bij het hoogste toerental van de schroeven);
- bij toenemende diepte onder de waterspiegel neemt de spreiding in de meetresultaten snel af en wel tot ca. 50 % bij 7 cm onder het wateroppervlak en max. 25 % bij 17 cm onder de waterspiegel; en
- de spreiding is bij het hoogste toerental dat onderzocht is, beduidend hoger dan bij het laagste toerental.

5 Waterbeweging boven de taluds

5.1 Kritische beschouwing van de meetresultaten

Door het Nederlandsch Scheepsbouwkundig Proefstation zijn de meetresultaten in de vorm van tabellen geleverd. Uit bestudering van de gegevens bleek, dat een aantal meetresultaten een sterk van het merendeel van de metingen afwijkend beeld te zien gaven. In sommige gevallen kan een verklaring van dat afwijkende beeld een verstoring van de micromolen (door bij voorbeeld een vuiltje) zijn, in een enkel geval kan de oorzaak niet worden achterhaald. De volgende registraties zijn daarom van verdere verwerking uitgesloten: proefnr. 2657, molen 1 en 3; proefnr. 2661, molen 7; proefnr. 2663, molen 3 en proefnr. 2685, molen 7.

In een aantal gevallen kon voorts door de optredende spiegeldaling gedurende enige tijd de retourstroom door molen 5 (steeds het dichtst bij de oever staande) niet worden gemeten, omdat deze droogviel. Indien de op dezelfde plaats opgestelde golfhoogtemeter een maximale waterspiegeldaling van meer dan 1,4 m registreerde, is van de in de tabellen vermelde waarden voor de retourstroom geen gebruik gemaakt.

5.2 Maximale waarden van de waterbeweging boven de taluds

Om een indruk te krijgen van de snelheden en waterspiegeldalingen, waarop voor de te ontwerpen taludverdediging moet worden gerekend, zijn in eerste instantie de maximale waarden van retourstroom en waterspiegeldaling naast en van volgstroom en waterspiegelverhoging achter de schepen bepaald.

Het in paragraaf 3.5 beschreven basismateriaal was ingedeeld naar meetinstrument. Bij het samenstellen van de tabellen 3 ... 6 en de figuren 9 ... 35 zijn de metingen gerangschikt naar de plaats van de meetinstrumenten in het dwarsprofiel. Deze plaatsen zijn gegeven in figuur 8.

De maximaal gemeten waarden van retourstroom en spiegeldaling zijn voor de tanker weergegeven in tabel 3, voor het containerschip in tabel 5. De maxima voor volgstroom en waterspiegelverhoging achter het schip zijn opgenomen in de tabellen 4 en 6 voor respectievelijk de tanker en het containerschip.

De in paragraaf 5.1 genoemde, niet verder bewerkte, registraties zijn in deze tabellen met ? aangegeven. Waar de micromolens tijdelijk droogvielen is de maximale retourstroom met V aangegeven. Waar bij de volgstroom geen positieve waarden werden gevonden is dat in de tabellen met - aangegeven. Niet gemeten gevallen zijn opengelaten in de tabellen.

5.3 Invloed van diverse onafhankelijke variabelen op de maximaal gemeten waterbeweging

5.3.1 Algemeen

De waterbeweging rond een schip in een kanaal wordt door een groot aantal onafhankelijke variabelen bepaald. De belangrijkste daarvan hebben betrekking op

de afmetingen, vorm en voortstuwing van het schip, de kanaalafmetingen (bodembreedte, waterdiepte en taludhellingen), de plaats van het schip in het kanaal, alsmede de roer- en drifthoeken en de eventueel optredende - niet door het schip veroorzaakte - waterbeweging in het kanaal.

In paragraaf 3.1 is een opsomming gegeven van de tijdens de modelproeven onderzochte onafhankelijke variabelen. Dat zijn: het type en de voortstuwing (het vermogen) van het schip, de waterdiepte en de plaats van het schip in het kanaal. De invloed van roer- en drifthoeken is niet onderzocht, daar met evenwichtsroer- en -drifthoeken kon worden gevaren.

Achtereenvolgens zal in de volgende paragrafen worden behandeld de invloed van de waterdiepte, het scheepstype en het motorvermogen van het schip, en de plaats van het schip in het kanaal.

5.3.2 Invloed van de waterdiepte

De gemeten maximale waarden van retourstroom en waterspiegeldaling zijn in figuur 9 voor de offsets 1, 3 en 5 zowel voor de tanker als het containerschip uitgezet tegen de waterdiepte. Hetzelfde is gedaan in figuur 10 voor de volgstroom en waterspiegelverhoging achter de schepen. De gegeven retourstroom is in meetraaien 3 en 8 gemeten ongeveer halverwege het talud en dicht boven het taludoppervlak (figuur 8). De gegeven volgstroom is gemeten in het meetpunt dat het dichtst bij het wateroppervlak ligt (meetraaien 1 en 10, zie figuur 8). De waterspiegeldaling en -verhoging zijn gemeten in dezelfde raaien als de retourstroom respectievelijk de volgstroom.

Uit de in figuur 9 gegeven metingen blijkt dat retourstroom en spiegeldaling in het betreffende meetpunt meestal afnemen bij toenemende waterdiepte. Bij de gemeten volgstroom en spiegelverhoging (figuur 10) kan nauwelijks van enige invloed van de waterdiepte worden gesproken.

Samenvattend kan worden gesteld dat bij kleine waterdiepten de hoogste retourstroomsnelheden en grootste spiegeldalingen kunnen worden verwacht. Bij alle onderzochte waterdiepten (12,6 tot 16,7 m) werden hoge waarden voor volgstroom en waterspiegelverhoging gemeten.

5.3.3 Invloed van scheepstype en vermogen op de waterbeweging

Voor in het midden van het Nauw van Bath varende schepen (offset 3) is door het N.S.P. een schatting van het prototypevermogen gegeven (zie bijlage 1). Hoewel deze relatie tussen toerental en vermogen enigszins zal afwijken van die voor schepen, die dicht langs het talud varen, is in eerste instantie daar dezelfde relatie tussen toerental en vermogen gebruikt.

In figuur 11 zijn de maximaal gemeten waarden van retourstroom en spiegeldaling uitgezet tegen dat geschatte motorvermogen. In figuur 12 is hetzelfde gedaan voor de waterbeweging boven het talud achter het schip. Bij eenzelfde vermogen (ca. 30.000 pk) en een h/T -verhouding van 1,2 blijkt het containerschip een wat hogere snelheid te ontwikkelen dan de tanker. Ook de waterbeweging boven de taluds is bij het containerschip heviger, vooral als dat dicht langs het talud vaart (zie figuren 11 en 12). Overigens dient hierbij te worden opgemerkt, dat de waterdiepte in het kanaal bij de proeven met de tanker veel groter was dan bij het containerschip, bij gelijke h/T -verhouding (voor $h/T = 1,2$ respectievelijk 15,4 m en 13,8 m). Wordt bij de tanker de waterbeweging bij een waterdiepte van 14,1 m genomen inplaats van bij een waterdiepte van 15,4 m (de betreffende waarden zijn in tabel 3 ... 6 te vinden), dan is er nauwelijks verschil met de waterbeweging rond het containerschip (uiteraard voor overigens voor beide schepen gelijke onafhankelijke variabelen).

Uit de figuren 11 en 12 blijkt voorts, dat de waterbeweging boven de taluds flink toeneemt bij toenemend vermogen. Hierbij dient opgemerkt te worden, dat met name containerschepen aanmerkelijk hogere motorvermogens geïnstalleerd kunnen hebben dan zijn onderzocht.

5.3.4 Invloed van de plaats van het schip in het dwarsprofiel (de offset)

Voor het onderzoek naar de invloed van de plaats van het schip in het dwarsprofiel op de waterbeweging, is in plaats van de offset een F_1/F -verhouding gebruikt als basis voor de grafieken. Hierin is F_1 de natte kanaaldoorsnede tussen schip en kanaaloever en F de gehele natte kanaaldoorsnede (zie figuur 8). Hierdoor kan de belangrijke invloed, die de taludhelling op de afstand van schip tot meetinstrument en de meetresultaten heeft, gedeeltelijk worden gecompenseerd.

Voor de maximale retourstroom en spiegeldaling geeft figuur 13 duidelijk te zien, dat beide grootheden bij toenemende waarden van F_1/F (dus naarmate de schepen verder van de oever varen) snel afnemen. De waterbeweging achter het schip vertoont een ander beeld (zie figuur 14). Alleen boven het talud 1 : 4 blijken volgstroom en spiegelverhoging voor een dicht bij het talud varende tanker de hoogste waarden te geven. In alle andere gevallen blijken de hoogste waarden op te treden voor offset 2 en 4. Een verklaring - naast de in hoofdstuk 4 genoemde spreiding in de meetresultaten - kan zijn dat secundaire scheepsgolven door interferentie een aanzienlijke versterking van het primaire golfpatroon veroorzaken.

Gezien de grote invloed van de plaats van het schip in het dwarsprofiel en het vermogen van het schip op de waterbeweging (zie ook paragraaf 5.3.3), is uitermate belangrijk welke motorvermogens in de praktijk effectief zullen worden ingezet op de verschillende plaatsen van het schip in het dwarsprofiel.

5.4 Verloop van de waterbeweging boven de taluds

De watersnelheden zijn, zoals bekend, gemeten op 1,1 m boven het talud en bij onderling gelijke afstanden van de meetraaien. Wanneer de maximaal gemeten waarden van de volgstroom uitgezet worden tegen de diepte van het meetpunt onder het wateroppervlak (zie figuur 15), dan blijkt voor grote motorvermogens (containerschip, $n = 101$ omw/min) nabij het wateroppervlak de volgstroom opeens sterk toe te nemen (van maximaal 1,0 m/s op 5,0 m onder de waterspiegel tot maximaal 2,2 m/s op 2,2 m onder de waterspiegel). Op nog geringere diepten moet op nog hogere snelheden worden gerekend. Een mogelijke verklaring voor dit verschijnsel wordt in paragraaf 2.4 gegeven.

In plaats van tegen de diepte onder de waterspiegel, kan de waterbeweging ook tegen de horizontale afstand tussen meetpunt en oeverlijn worden uitgezet. Dat is voor de maximale snelheden in retour- en volgstroom gebeurd in de figuren 16 en 17 voor respectievelijk het talud 1 : 4 en het talud 1 : 10. Hieruit blijkt, dat zowel de retourstroom als de volgstroom enigszins toenemen, naarmate de afstand tot de oeverlijn geringer is. Alleen voor hoge vermogens (containerschip, $n = 101$ omw/min) treedt de plotselinge verhoging van de snelheden in de volgstroom nabij de waterspiegel op (boven het talud 1 : 4 in heviger mate dan boven het talud 1 : 10, zie de figuren 15 ... 17).

De maximaal gemeten waterspiegelveranderingen zijn in de figuren 18 en 19 uitgezet tegen de afstand van de meetraai tot de oever. Bij de tanker blijkt nauwelijks een invloed daarvan op de spiegelveranderingen te bestaan. Bij het containerschip nemen zowel de maximaal gemeten spiegelddaling als de spiegelverhoging af bij toenemende afstand van de meetraai tot de oever.

5.5 Invloed van de taludhelling op de volgstroom

In figuur 20 is de maximale gemeten waarde van de volgstroom uitgezet tegen de in dezelfde meetraai gemeten maximale waterspiegeldaling. Hoewel het aantal meetresultaten beperkt en de spreiding groot is, blijkt dat boven talud 1 : 10 meestal hogere waarden voor de volgstroom optreden dan (bij gelijke waarden van de waterspiegeldaling) boven talud 1 : 4.

5.6 Weergave van een aantal metingen

De resultaten van de belangrijkste metingen zijn in de figuren 21 ... 31 uitgezet tegen de tijd. Bij het vergelijken van deze metingen, blijkt wat in de voorgaande paragrafen is gevonden voor de maximaal gemeten waarden van de waterbeweging ook op te gaan voor de registratie als geheel. De invloed van de waterdiepte bijvoorbeeld is behandeld in paragraaf 5.3.1. De gegevens in die paragraaf zijn gevonden door de maximale waarden van de meetresultaten bij overigens gelijke randvoorwaarden met elkaar te vergelijken. Dit wordt nu ondersteund door de continue registraties. Verwezen wordt naar de volgende groepen figuren: a) figuren 21 en 22; b) figuren 23, 24 en 30; c) figuren 23, 28 en 31.

Hetzelfde geldt voor de in paragraaf 5.3.2 behandelde invloed van het vermogen (toerental) op de waterbeweging uit vergelijking van de figuren 28 en 29.

De invloed van de plaats van het schip in het dwarsprofiel kan onder andere worden onderzocht aan de hand van figuur 21. Het verloop van de waterbeweging boven de taluds blijkt uit alle figuren 21 ... 31.

Interessant zijn vooral de figuren 25 en 27, waar de waterbeweging boven de taluds voor de "tussenoffsets" (offsets 2 en 4) van het containerschip is uitgezet.

De indruk, dat de bijzonder hoge waarden voor de maximaal gemeten volgstroom en spiegeldaling het gevolg zijn van interferentie van het primaire en secundaire golfsysteem wordt met name door figuur 25 versterkt.

Uit de figuren 21 ... 31 blijkt voorts, dat de tijdsduur, waarover retourstroom en spiegeldaling in een bepaald punt optreden, zeer beperkt is. De tijdsduur waarover hoge waarden van de retourstroom optreden is beperkt tot ca. 0,5 minuut. Pieken in de volgstroom duren - vooral voor de "tussenoffsets" (zie figuur 25) - in het algemeen slechts enkele seconden. Een uitzondering wordt gevormd door offset 5 (meetraai 10) waar meer dan 1 minuut nadat het hek van het schip is gepasseerd nog steeds hoge volgstroomsnelheden op blijken te treden (zie figuren 23, 28, 31). Op dat moment bevindt het hek van het schip zich - omgerekend naar het prototype - dus al bijna een halve kilometer van de meetplaats.

Tenslotte blijkt, dat tussen de snelheidsmetingen boven de teen van het talud op halve waterdiepte en op 1,1 m boven de bodem, praktisch geen verschillen optreden (zie de figuren 24 en 25).

5.7 Samenvatting

Uit de paragrafen 5.3 tot en met 5.6 kunnen samenvattend de volgende conclusies worden getrokken (alle vermelde eenheden in prototype-waarden):

- Bij de laagste waterstanden kunnen (bij de diepgangen van de schepen waarmee tijdens het onderzoek werd gevaren) de hoogste waarden voor retourstroom en spiegeldaling worden verwacht.
- Bij alle waterstanden kunnen hoge waarden voor de volgstroom en waterspiegelverhoging voorkomen.
- Vergroting van het motorvermogen geeft een belangrijke toename van de waterbeweging (watersnelheden en waterspiegelveranderingen).
- Voor de waterbeweging geeft het containerschip meestal hogere waarden dan de tanker.
- Retourstroom en spiegeldaling nemen zeer sterk toe, wanneer de afstand tussen talud en schip afneemt (bij gelijkblijvend motorvermogen). Deze toename wordt onmiddellijk geconstateerd, zodra het schip het midden van het kanaal verlaat.
- Boven de taluds worden de hoogste volgstroom en maximale spiegeldaling

gemeten, wanneer het schip met de as ongeveer midden tussen kanaalas en teen talud vaart (circa 80 m uit de kanaalas).

- De volgstroom kan voor het snel varende containerschip hoge waarden bereiken in een zone tot circa 4 m onder de waterspiegel. Met name in de bovenste 2 m zijn hogere snelheden dan in de retourstroom gemeten niet uitgesloten.
- De gemeten retour- en volgstroomsnelheden nemen boven het talud toe wanneer de afstand van de meetraai tot de teen van het talud groter wordt.
- In de vertikaal boven de teen van het talud worden - op afstanden van meer dan 1,1 m boven de bodem - praktisch geen verschillen in watersnelheden geconstateerd.
- De waterspiegelveranderingen boven het talud nemen òf toe, òf blijven gelijk, wanneer de afstand van de meetraai tot de teen van het talud groter wordt.
- Bij gelijke waterspiegeldaling blijkt de volgstroom boven het talud 1 : 10 hogere waarden te bereiken dan boven het talud 1 : 4.
- Bij de metingen werden voor retourstroom en spiegeldaling de hoogste waarden boven het talud 1 : 4 gemeten. Daarbij is zeker van invloed, dat de afstand tussen schip en meetraai dan kleiner is dan bij metingen boven het talud 1 : 10 (bij overeenkomende offset, dus offset 1 en 5, 2 en 4, en 3 en 3).
- De tijdsduur waarover hoge waarden van spiegeldaling en retourstroom optreden was bij de uitgevoerde proeven beperkt tot circa 30 seconden.
- De zeer hoge waarden voor de volgstroom en spiegelverhoging traden meest slechts gedurende enige seconden op.
- Boven het talud 1 : 4 traden in de volgstroom echter snelheden van meer dan 1 m/s op gedurende meer dan 60 seconden, wanneer het containerschip met vol vermogen op korte afstand van het talud passeerde.

6 Bruikbaarheid (voor het Nauw van Bath) van resultaten van het onderzoek Schelde-Rijnverbinding

6.1 Waterbeweging

Dwarsdoorsneden over het in het Waterloopkundig Laboratorium onderzochte model van de Schelde-Rijnverbinding zijn in figuur 32 weergegeven, uitgaande van een schaalfactor 87,5 in plaats van 25. Dat is gedaan voor de laagste waterstand (N.A.P. - 2 m, waterdiepte voor Schelde-Rijnverbinding 4 m) die in dat model

is onderzocht, gebruikmakend van een RHK-schip type "Johann Welker". In dezelfde figuur is een drietal onderzochte situaties voor het containerschip in het model van het Nauw van Bath (schaalfactor 55) weergegeven. Afgezien van het talud 1 : 10 is de overeenkomst bij beide modellen tussen de afmetingen van de dwarsprofielen en tussen de meetopstellingen aan de kant van het talud 1 : 4 goed te noemen.

Van de in figuur 32 uitgezette kanaalprofielen zijn de hoofdafmetingen gegeven in tabel 7, waarin tevens de scheepsafmetingen, de berekende waterbeweging volgens Schijf en de gemeten waterbeweging zijn opgenomen. Daarbij is de waterbeweging voor het Nauw van Bath op 17,5 m uit de teen van het talud bepaald door rechtlijnige interpolatie tussen meetraai 7 en 8 (snelheden) respectievelijk 6 en 8 (waterspiegelveranderingen).

De bij beide onderzoeken gemeten retourstroom en spiegeldaling blijken redelijk met elkaar overeen te komen, vooral als rekening wordt gehouden met de verschillende plaats van de schepen in het dwarsprofiel. De invloed daarvan is te zien in figuur 33, waar zowel de metingen in het model van het Nauw van Bath als in dat van de Schelde-Rijnverbinding als functie van de plaats van het schip zijn uitgezet.

De volgstroom en de spiegelverhoging vertonen een voor beide onderzoeken afwijkend beeld, wanneer het schip zeer dicht langs het talud vaart. Het is niet uitgesloten, dat ook voor zeer dicht bij het talud varende schepen (onderzoek Schelde-Rijnverbinding) door interferenties van primaire en secundaire scheepsgolven de hoge waarden optreden. De verschillen tussen beide onderzoeken zijn weer gering voor F_1/F -verhoudingen van 0,26 à 0,28 (zie figuur 33, onderste helft).

6.2 Schade aan stortsteen

Uit het vorige hoofdstuk blijkt, dat omschaling van de in het model van de Schelde-Rijnverbinding gemeten waterbeweging redelijk overeenkomende resultaten voor het Nauw van Bath oplevert. Althans, voor waterdiepten in het model van circa 16 cm en gebruik makend van een RHK-schip, type "Johann Welker".

Onder deze omstandigheden is in het model van de Schelde-Rijnverbinding onder meer de stabiliteit van stortsteen 10/80 en stortsteen 50/200 onderzocht. Het s.g. van deze stortsteen bedroeg globaal 2650 kg/m^3 . Voor een nadere omschrijving wordt verwezen naar [4]. Omschaling van deze stenen naar de omstandigheden in het Nauw van Bath levert "stortsteen 400/3400" respectievelijk "stortsteen 2100/8600", met gemiddelde stuksgewichten van respectievelijk 1800 en 5300 kg. De gevonden schade wordt uitgedrukt in een schadegetal S , waarvan de definitie eveneens in [4] is te vinden.

In tabel 8 zijn de in het model van de Schelde-Rijnverbinding gemeten schadegetallen gegeven.

Daarbij zijn de gemeten scheepssnelheden en het geschatte prototypemotorvermogen omgeschaald. De gemeten "schadegetallen" zijn met behulp van het gemiddelde stuksgewicht van de stenen ook nog omgerekend naar het gewicht van de stenen dat gemiddeld per m^2 uit een vak van ca. 480 m^2 naar een ander vak werd verplaatst.

De schade treedt voornamelijk op in een betrekkelijk smalle zone rond de waterspiegel. In het model van de Schelde-Rijnverbinding werd de meeste schade (circa 80 % van de verplaatste stenen) gevonden in een gebied tot ongeveer 4 cm onder de waterspiegel (bij schaal 1 : 87,5 is dat 3,5 m). In het algemeen werd op diepten van meer dan circa 10 cm (9 m prototype) onder de waterspiegel geen schade van betekenis gevonden. Veruit de meeste verplaatsingen van de stenen vonden plaats evenwijdig aan de kanaalas in de vaarrichting van het schip.

Samenvattend ontstaat de volgende indruk:

Schepen met (benutte) vermogens tot circa 65.000 pk zullen nauwelijks schade aan "stortsteen 2100/8600" kunnen veroorzaken. Hetzelfde geldt voor schepen met een vermogen tot circa 35.000 pk bij "stortsteen 400/3400". Aan deze laatste stortsteen treedt wel schade op, wanneer met circa 65.000 pk excentrisch door het kanaal wordt gevaren. Deze schade neemt toe, wanneer de afstand tot het talud afneemt. Bij verder toenemende vermogens neemt de schade aan "stortsteen 400/3400" sterk toe. In één geval werd bij een verdubbeling van het vermogen (van ca. 65.000 pk tot ca. 110.000 pk en een F_1/F -verhouding van 0,06, zie tabel 8) een zeven maal zo hoge schade geconstateerd. Tevens begint onder die

omstandigheden ook aan "stortsteen 2100/8600" enige schade op te treden. Gezien het karakter van de "omschaling" mogen bovenstaande gegevens slechts met het grootste voorbehoud worden gebruikt. Ze kunnen zeker niet als ontwerp-criteria dienen, maar geven hooguit enige indicatie van wat mogelijk kan worden verwacht.

7 Aanbevelingen voor aanvullend onderzoek

Alvorens een optimaal gebruik kan worden gemaakt van de in dit verslag opgesomde gegevens dient te worden nagegaan of er een relatie bestaat tussen de plaats van het schip in het dwarsprofiel en het maximaal, respectievelijk frequent, te verwachten motorvermogen. Wanneer deze vermogens in één of meer offsets hoger dan 60.000 pk blijken te zijn, dan is aanvullend onderzoek voor die offsets gewenst. Eventueel kan dat onderzoek in het model van de Schelde-Rijnverbinding plaatshebben (met een beschikbaar RHK-schip kunnen "omgeschaalde" vermogens tot circa 200.000 pk worden bereikt).

Wordt een verdere verfijning van de resultaten op prijs gesteld, dan is in de eerste plaats een nadere studie van meerdere offsets gewenst. Gezien het grote belang van de eventuele interferenties is het namelijk zeer wel mogelijk, dat voor de volgstroom hogere dan de gemeten waarden optreden bij een juist iets andere plaats van het schip in het dwarsprofiel.

Met name voor de te verwachten stroomsnelheden naast stroomopwaarts varende schepen is onderzoek naar de invloed van de stroomsnelheid op retourstroom en spiegeldaling gewenst. De gegevens, die daarover uit het onderzoek M 1115-I [4] ter beschikking staan, geven weliswaar de indruk dat in dat geval retourstroom en stroomsnelheid mogen worden gesuperponeerd, maar de metingen waarop deze conclusie is gebaseerd zijn verricht bij een andere waterstand en deels met een ander schip. In ieder geval kan over het gedrag van de volgstroom bij stroomopwaarts varende schepen op grond van deze metingen geen uitsluitel worden gegeven.

LITERATUUR

- 1 HAY, Duncan. Harbour entrances, channels and turning basins.
The Dock and Harbour Authority, 1968, pp. 269 - 276.
- 2 KREY, H. Fahrt der Schiffe auf beschränktem Wasser.
Berlin, Schiffbau, 1913, nos. 12, 13, 16 en 17.
- 3 SCHIJF, J.B. en JANSEN, P.Ph.
Rome, XVIIIth International Navigation Congress, 1953, Section 1,
Communication 1.
- 4 Waterloopkundig Laboratorium en KAA, E.J. van de
Aantasting van dwarsprofielen in vaarwegen, deel 1, Schelde-Rijnverbinding.
Delft, W.L., 1974, Rapport M 1115-I.
- 5 Waterloopkundig Laboratorium en SCHIJF, J.B.
Verschijnselen bij de vaart van een of twee schepen in een kanaal.
Delft, W.L., 1953, Rapport M 415.
- 6 Metingen van golfhoogtes en watersnelheden langs het talud van de bocht-
afsnijding bij Bath.
Wageningen, N.S.P., 1973, Rapport no. 72-0023-2-GBT.

h	h/T	offset	F_1/F	toeren	grenssnelh.		scheepssnelh.		retourstr.	spiegeldaling
m	-	-	-	omw/min	m/s	knoop	m/s	knoop	m/s	m
16,67	1,3	1	0,22	150	8,15	15,8	5,78	11,2	0,72	0,70
		3	0,55				6,30	12,2	0,86	0,82
		3	0,45				6,30	12,2	0,86	0,82
		5	0,11				5,49	10,7	0,65	0,63
15,40	1,2	1	0,21	150	7,72	15,0	5,71	11,1	0,79	0,71
		2	0,38				6,16	12,0	0,92	0,83
		3	0,55				6,16	12,0	0,92	0,83
		3	0,45				6,16	12,0	0,92	0,83
		4	0,28				6,01	11,7	0,88	0,79
		5	0,10				5,49	10,7	0,73	0,66
15,40	1,2	3	0,55	120	7,72	15,0	5,34	10,4	0,69	0,63
		3	0,45				5,34	10,4	0,69	0,63
		5	0,10				4,52	8,8	0,51	0,46
14,08	1,1	1	0,20	150	7,26	14,1	4,97	9,7	0,68	0,58
		3	0,55				5,49	10,7	0,83	0,70
		3	0,45				5,49	10,7	0,83	0,70
		5	0,10				4,67	9,1	0,61	0,51

h = waterdiepte
 T = diepgang schip
 offset = afstand van het schip tot de kanaalas
 F_1 = natte kanaaldoorsnede tussen schip en kanaaloever
 F = totale natte kanaaldoorsnede

(zie figuur 8)

Tabel 1 Berekende gemiddelde retourstroom en waterspiegeldaling naast de tanker

h	h/T	offset	F_1/F	toeren	grenssnelh.		scheepssnelh.		retourstr.	spiegeldaling
m	-	-	-	omw/min	m/s	knoop	m/s	knoop	m/s	m
16,06	1,4	1	0,22	101	8,35	16,2	7,12	13,8	0,98	0,95
		3	0,55				8,16	15,9	1,49	1,39
		3	0,45				8,16	15,9	1,49	1,39
		5	0,11				6,82	13,3	0,88	0,87
13,81	1,2	1	0,20	101	7,55	14,7	6,82	13,3	1,14	0,98
		2	0,37				7,34	14,3	1,47	1,25
		3	0,55				7,64	14,9	1,90	1,60
		3	0,45				7,64	14,9	1,90	1,60
		4	0,28				7,34	14,3	1,47	1,25
		5	0,10				6,38	12,4	0,96	0,84
		3	0,55	81	7,55	14,7	6,67	13,0	1,07	0,93
		3	0,45				6,67	13,0	1,07	0,93
		5	0,10				5,86	11,4	0,79	0,71
12,65	1,1	1	0,19	101	7,11	13,8	6,30	12,2	1,09	0,88
		3	0,54				7,12	13,8	1,91	1,60
		3	0,46				7,12	13,8	1,91	1,60
		5	0,10				6,16	12,0	1,02	0,84

Tabel 2 Berekende gemiddelde retourstroom en waterspiegeldaling naast het containerschip.

h	h/T	offset	F _v /F	toerental	scheeps- snelheid		maximaal gemeten waterspiegeldaling						maximaal gemeten retourstroom										gemeten grootheid																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
					m/s	knoop	1	3	5	6	8	10	1,1 m boven taludoppervlak										halve diepte																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
													m	m	m	m	m	m	m	m	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	m/s	m/s																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
m	-	-	-	omw/min																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																															</

Tabel 3 Maximaal gemeten retourstroom en waterspiegeldaling naast de tanker

h	h/T	offset	F _v /F	toerental	scheeps- snelheid		maximaal gemeten waterspiegelverhoging						maximaal gemeten volgastroom										gemeten grootheid																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																									
					m/s	knoop	1		3		5		6		8		10		1,1 m boven taludoppervlak										plaats in vertikaal	meetraai																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																		
							m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m

Tabel 4 Maximaal gemeten volgastroom en waterspiegelverhoging achter de tanker

h	h/T	offset	F _v /F	toerental	scheeps- snelheid		maximaal gemeten waterspiegelddaling					maximaal gemeten retourstroom										gemeten grootheid plaats in vertikaal																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
					m/s	knoop	1	3	5	6	8	10	1,1 m boven teluiddoppvlak										halve diepte																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																
													m	m	m	m	m	m	m	m	m/s	m/s	m/s	m/s	m/s	m/s	m/s	m/s	m/s																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																										
m	-	-	-	omw/min																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			</

Tabel 5 Maximaal gemeten retourstroom en waterspiegelddaling naast het containerschip

h	h/T	offset	F _v /F	toerental	scheeps- snelheid		maximaal gemeten waterspiegelverhoging					maximaal gemeten volgroom										gemeten grootheid plaats in vertikaal				
					m/s	knoop	1	3	5	6	8	10	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	halve diepte			
																							m	m	m	m
m	-	-	-	omw/min																				meer raai	eenheid	
16,06	1,4	1	0,22	101	7,2	14,0	0,91	0,43	0,22	0,19	0,20	1,21	0,85	0,47	0,17	0,12							0,06	-		
		3	0,55		8,2	15,9	0,97	0,59	0,37	0,31	0,27	0,95	0,47	0,17	0,08	-							-	0,04		
		3	0,45		8,2	15,9	0,67		0,58	0,25	0,39	0,43					-	0,02	0,09	0,11	0,40	0,14	-			
		5	0,11		6,9	13,4	0,19		0,05	0,51	0,59	0,69					0,21	0,52	0,47	0,64	1,77	-	0,40			
13,81	1,2	1	0,20	101	6,9	13,4	1,11	0,51	0,22	0,09	0,05	1,35	0,98	0,58	0,33	0,18							0,17	0,06		
		2	0,37		7,4	14,4	1,36	0,63	0,45	0,28	0,15	1,71	0,81	0,39	0,22	0,11							0,13	0,06		
		3	0,55		7,7	14,9	0,79	0,71	0,45	0,28	0,20	1,10	0,79	0,37	0,23	0,13							0,16	0,09		
		3	0,45		7,7	14,9	0,80		0,45	0,34	0,43	0,30					-	0,07	0,09	0,13	0,19	0,11	-			
		4	0,28		7,4	14,4	0,38		0,42	0,51	0,72	1,63					-	0,07	0,53	1,15	1,85	0,15	-			
12,65	1,1	5	0,10		6,4	12,5	0,28		0,11	0,60	0,75	0,88					0,50	0,34	0,56	0,90	1,47	?	0,47			
		3	0,55	81	6,7	13,1	0,35		0,34	0,28	0,16	0,30	0,34	0,21	0,09	-	-						-	0,09		
		3	0,45		6,7	13,1	0,30		0,34	0,22	0,16	0,20					-	0,02	0,04	0,13	0,17	0,16	-			
		5	0,10		5,9	11,4	-		-	0,15	0,36	0,41					0,25	0,04	0,34	0,30	0,59	0,01	0,24			
12,65	1,1	1	0,19	101	6,3	12,3	1,41	0,55	0,42	0,10	0,07	1,39	0,81	0,47	0,26	0,18							0,20	-		
		3	0,54		7,2	14,0	1,01	0,72	0,65	0,29	0,47	0,84	0,64	0,24	0,07	-							-	0,13		
		3	0,46		7,2	14,0	0,86		0,59	0,19	0,34	0,60					-	0,07	0,11	0,13	0,30	0,03	-			
		5	0,10		6,2	12,0	0,10		0,21	0,57	0,80	0,58					0,18	0,04	0,43	0,43	2,19	0,03	0,24			

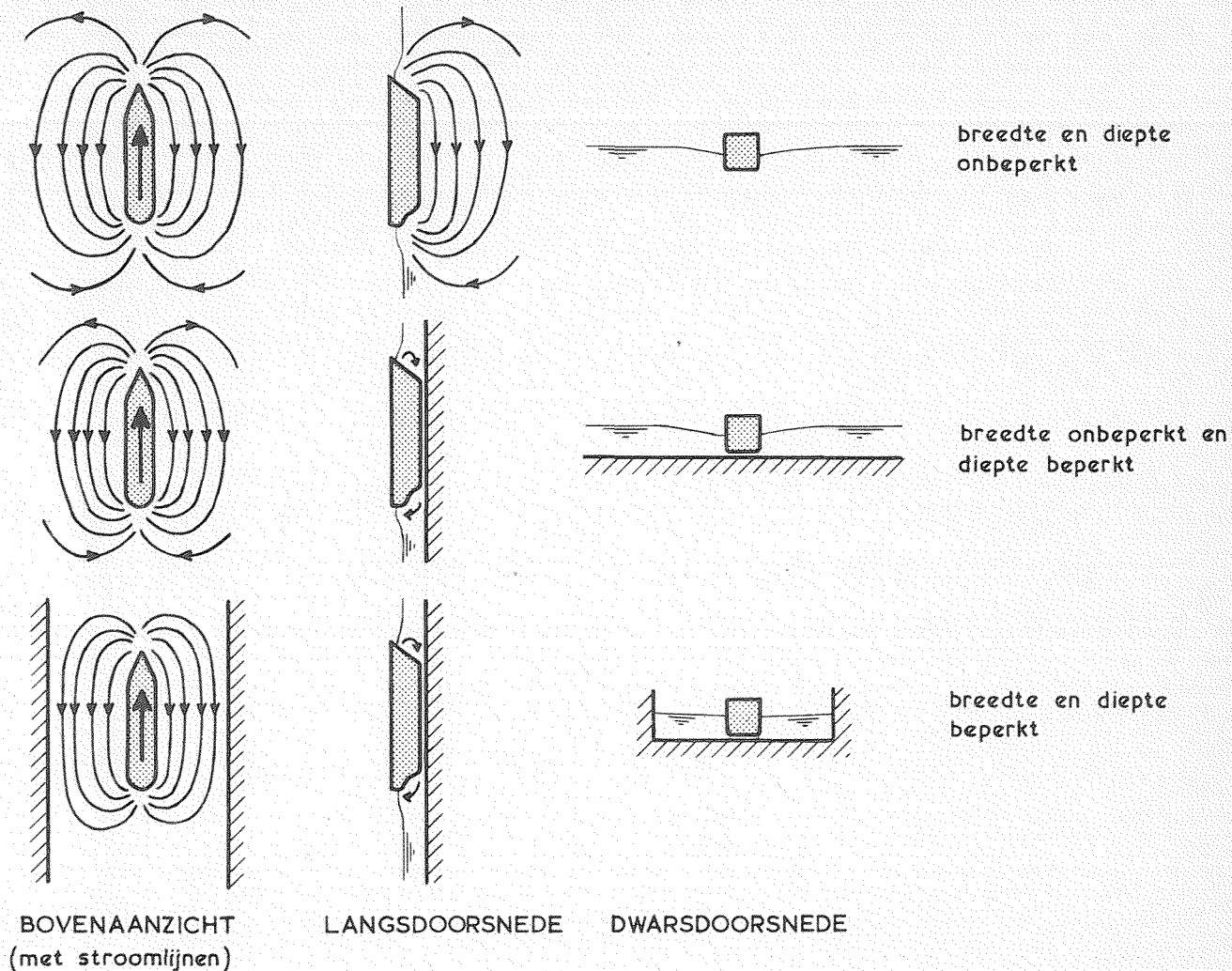
Tabel 6 Maximaal gemeten volgroom en waterspiegelverhoging achter het containerschip

F_1/F	Globaal vermogen	Scheepssnelheid		Schadegetal S			
				"Stortsteen 400/3400"		"Stortsteen 2100/8600"	
-	(pk)	(m/s)	(knoop)	(S)	("kg/m ² ") ¹⁾	(S)	("kg/m ² ") ¹⁾
0,06	< 35.000	6,1	11,9	-	-	-	-
	ca 35.000	6,4	12,5	?	?	0,01	0,1
	ca 65.000	6,7	13,0	2,5	9	-	-
	(deels gesleept)	6,8	13,2	5,0	19	0,6	7
	(deels gesleept)	7,1	13,8	10,8	40	1,0	11
	ca 110.000	7,3	14,2	?	?	1,0	11
	(deels gesleept)	7,3	14,2	17,0	64	2,4	26
0,26	ca 35.000	6,9	13,4	-	-	-	-
	ca 65.000	7,7	15,0	0,8	3	-	-
	(onbekend)	7,7	15,0	?	?	0,01	0,1
	(deels gesleept)	7,9	15,4	8,3	31	2,0	22
0,50	ca 65.000	7,8	15,2	-	-	-	-
	(deels gesleept)	8,6	16,7	3,3	12	-	-
	(deels gesleept)	9,1	17,7	22,0	82	3,8	42

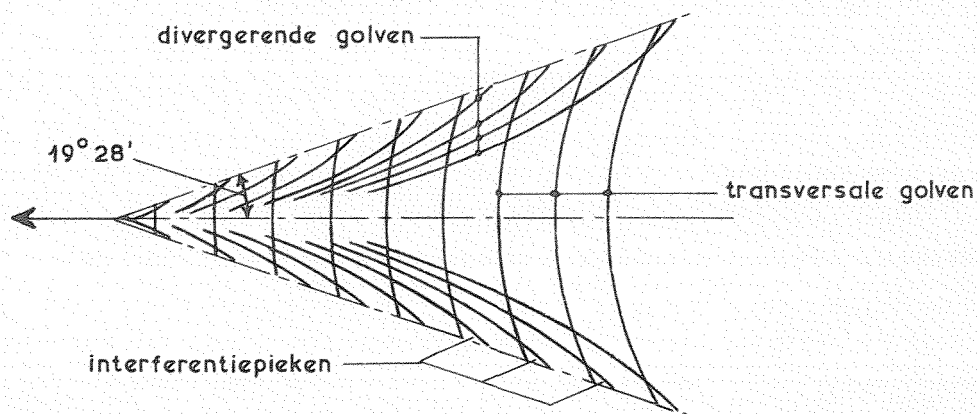
(zie voor de afmetingen van kanaalprofiel en schip tabel 7 en figuur 36)

- 1) het aantal "kg/m²" is het globale gewicht aan stortsteen, dat na 3 passages van het schip vanuit een vak van 480 m² in een ander vak van 480 m² wordt verplaatst, gedeeld door 480 m². Uiteraard is het werkelijk verplaatste gewicht aan stenen groter, daar verplaatsingen binnen het vak van 480 m² niet worden geconstateerd.

Tabel 8 Schade aan stortsteen in model Schelde-Rijnverbinding

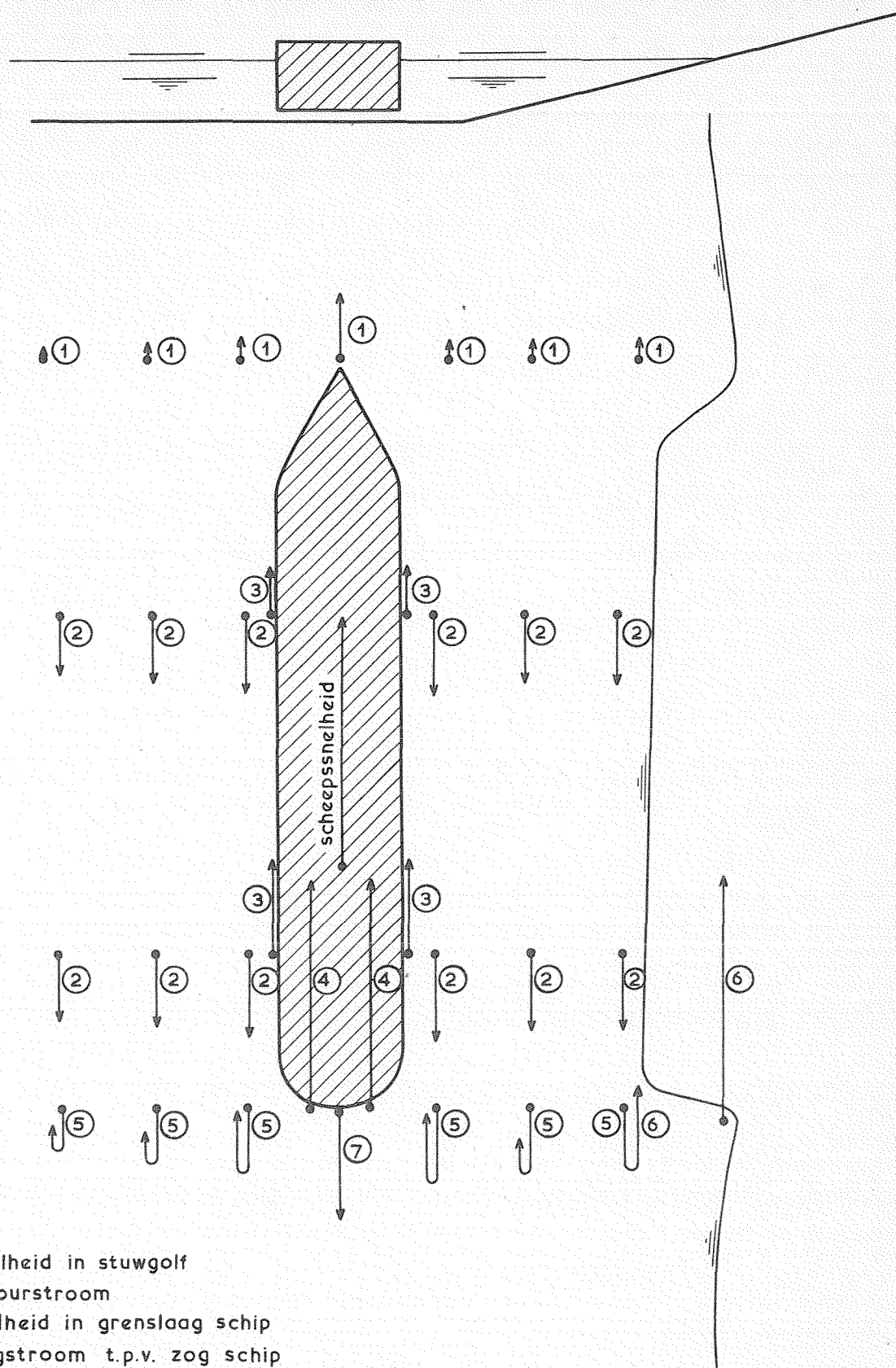


PRIMAIRE SCHEEPSGOLVEN OP VAARWEGEN VAN VERSCHILLENDE AARD



GOLFSYSTEEM, VEROORZAAKT DOOR EEN BEWEGENDE DRUKPIEK
 $(v/\sqrt{gh} < 0,7)$

PRIMAIRE EN SECUNDAIRE SCHEEPSGOLVEN



- ① snelheid in stuwgolf
- ② retourstroom
- ③ snelheid in grenslaag schip
- ④ volgstroom t.p.v. zog schip
- ⑤ gebied met nabij bodem en wateroppervlak
verschillende stroomrichting
- ⑥ volgstroom boven taluds
- ⑦ schroefstraal

SCHETS VAN DE WATERBEWEGING ROND EEN VAREND SCHIP

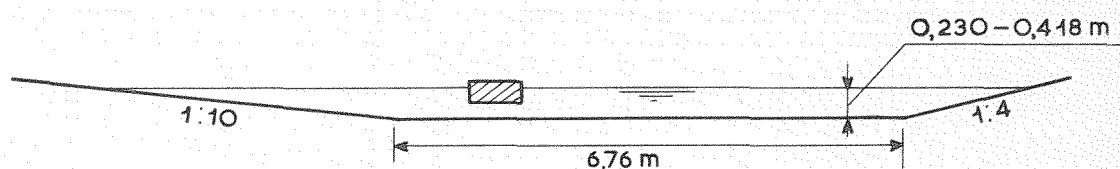
WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

R. 840

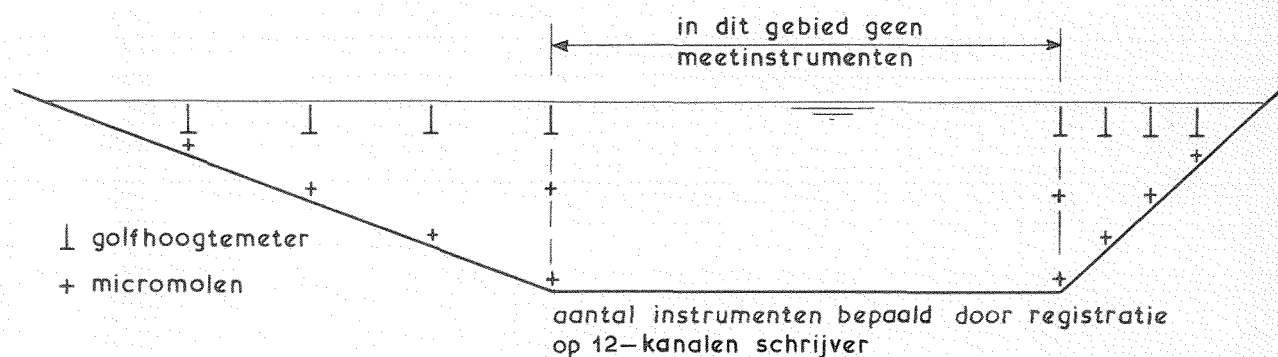
FIG. 2

MODELSCHEPEN			
TANKER (90.000 TDW)		CONTAINERSCHIP (TRIO, 62.000 TDW)	
L = 4,170 m		L = 4,910 m	
B = 0,673 m		B = 0,586 m	
T = 0,233 m		T = 0,209 m	
h/T=1,1	h=0,256 m	h/T=1,1	h=0,230 m
h/T=1,2	h=0,280 m	h/T=1,2	h=0,251 m
h/T=1,3	h=0,303 m	h/T=1,4	h=0,292 m
		h/T=2,0	h=0,418 m

SITUATIE



OPSTELLING MEETAPPARATUUR



TE SELECTEREN RUNS VAN DEZE METINGEN

variabelen: h/T waterdiepte - diepgang verhouding
V scheepssnelheid
a offset (5 plaatsen)

modelschaal 1:55

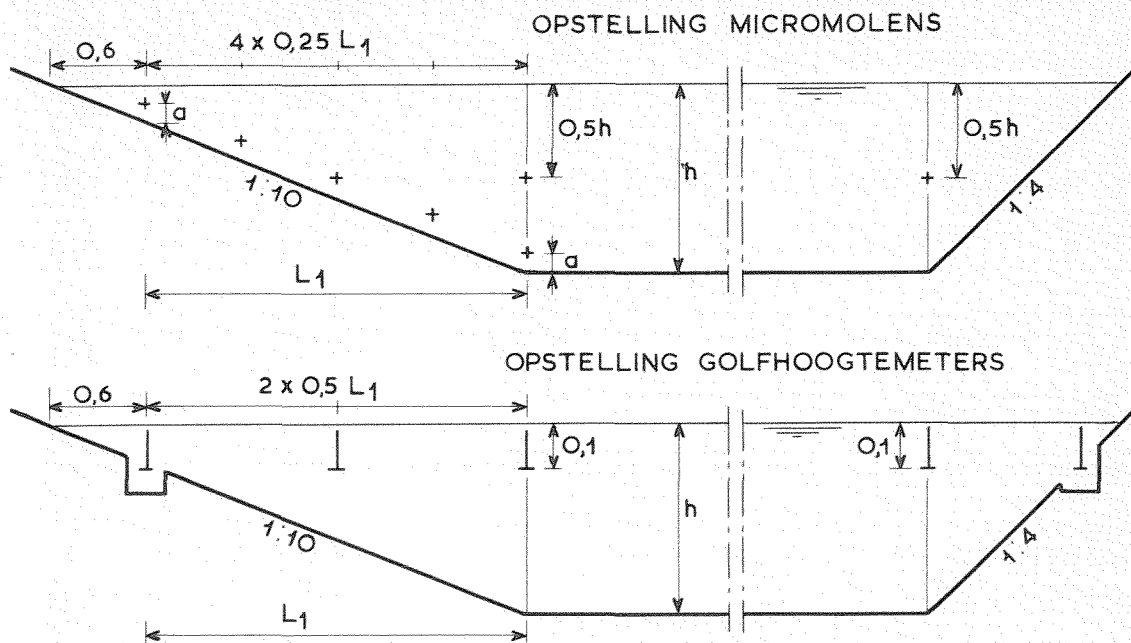
GEGEVEN MOGELIJKHEDEN EN BEPERKINGEN
VOOR HET MODELONDERZOEK NAUW VAN BATH

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

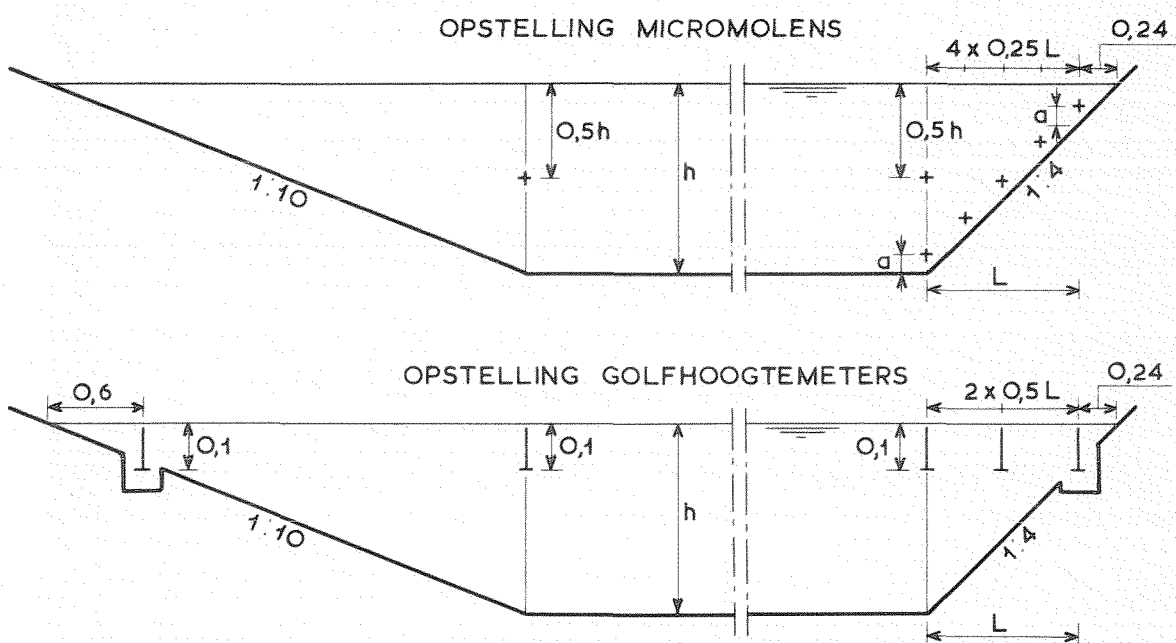
R. 840

FIG. 3

MEETOPSTELLING OFFSET 1, 2 en 3(a)



MEETOPSTELLING OFFSET 3(b), 4 en 5



⊥ golfhoogtemeter
+ micromolen

$h = 0,230 \text{ à } 0,303$

$a = 0,02$

$h, L \text{ en } L_1$ variabel

maten in m model

OPSTELLING MEETINSTRUMENTEN

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

R. 840

FIG. 4

VAARPROGRAMMA

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

R. 840

FIG. 5

A Containerschip

h/T	1,1					1,2					1,4					Aantal runs
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	
Offset	V _m	V _m	V _m	V _m	V _m	V _g	V _n	V _g	V _n	V _g	V _g	V _n	V _g	V _n	V _g	V _n
Snelheid schip																
Minimum programma																
Aanvulling I	X	X	X		X	X					X					8
II						X										4
III							X									3
IV								X								2
V	X	X	X		X	X	X	X	X	X	X					17
VI																3
VII	X	X		X								X				4
	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	30

B Tanker

h/T	1,1					1,2					1,3					Aantal runs
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	
Offset	V _m	V _m	V _m	V _m	V _m	V _g	V _n	V _g	V _n	V _g	V _g	V _n	V _g	V _n	V _g	V _n
Snelheid schip																
Minimum programma																
Aanvulling I	X	X	X		X	X										4
II						X										4
III							X									3
IV								X								2
V	X	X	X		X	X	X	X	X	X	X					17
VI																3
VII	X	X		X								X				4
	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	30

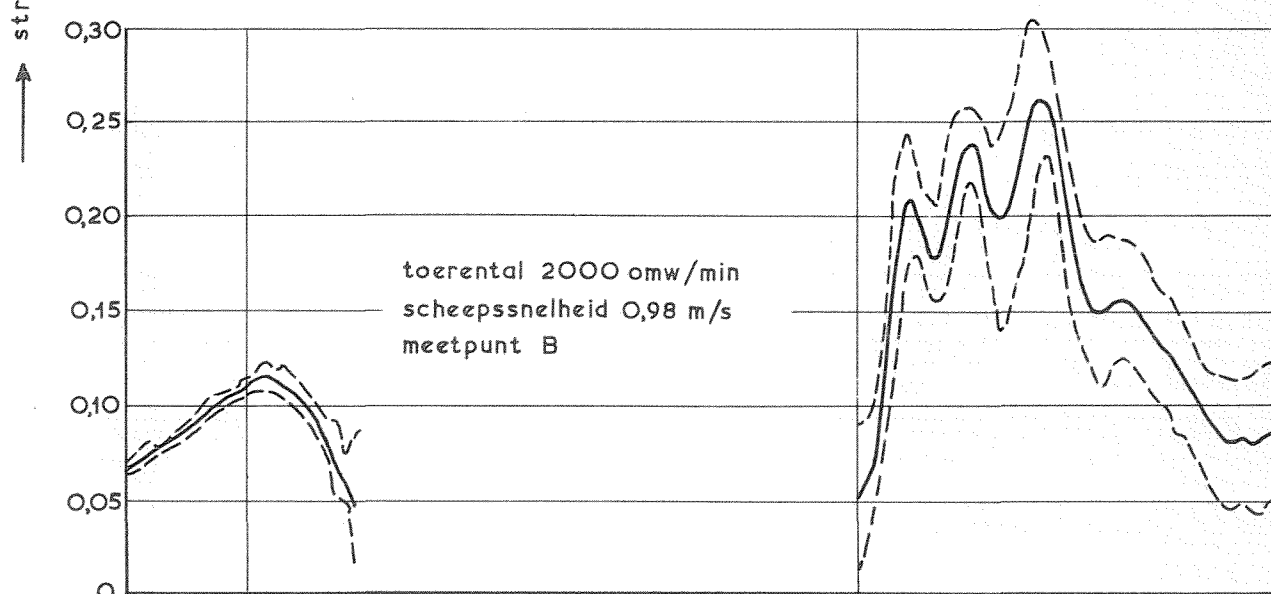
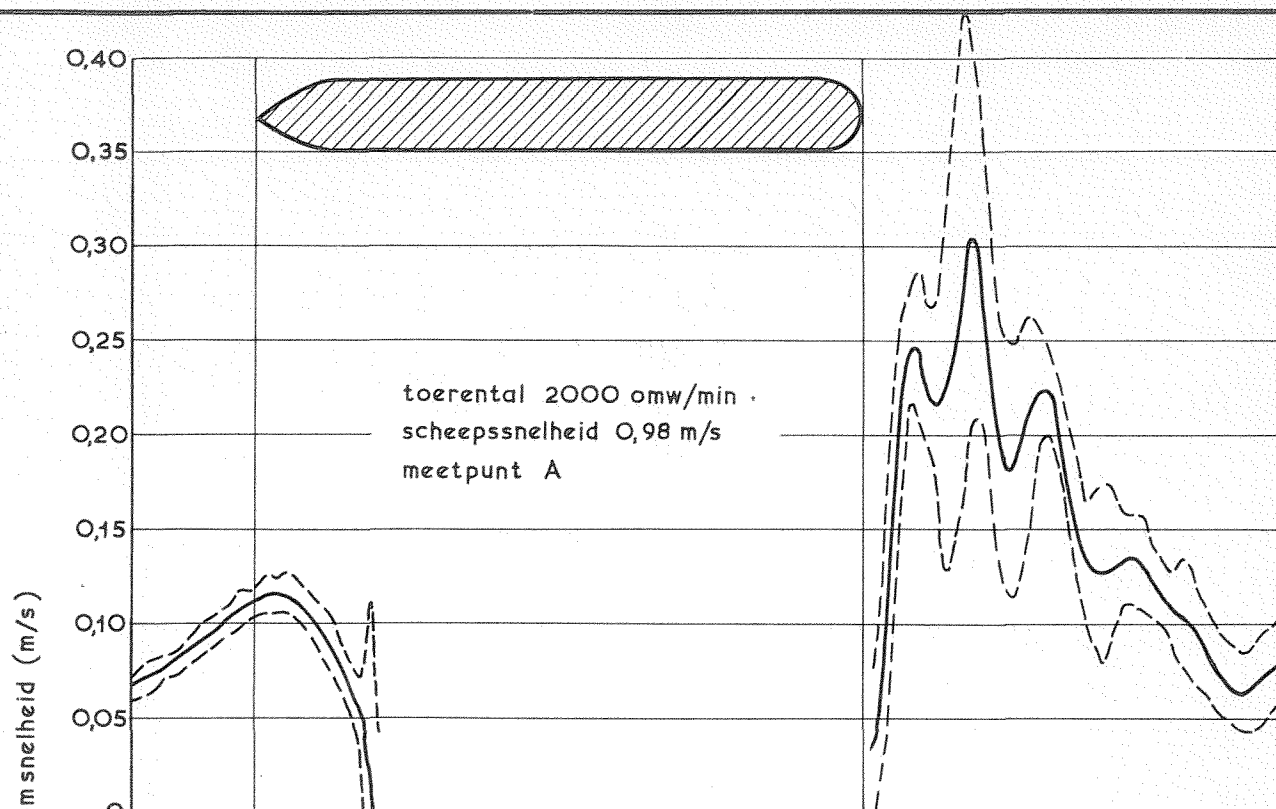
V_m = maximum snelheid vòòr "aan de grond lopen"

V_g = maximaal op eigen kracht bereikbare snelheid

V_n = "normale" snelheid, ca. 0,9 x V_g

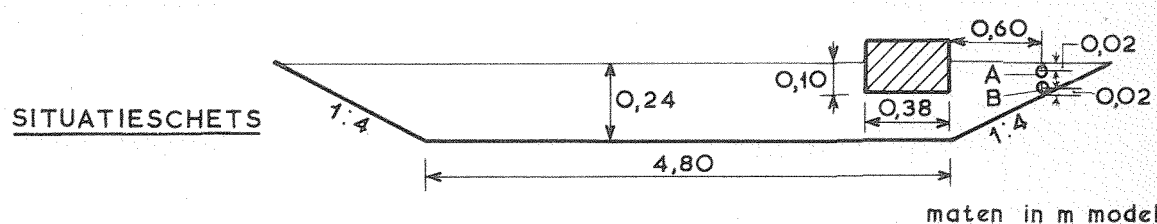
Minimum programma + aanvulling I... IV

Maximum programma : 60

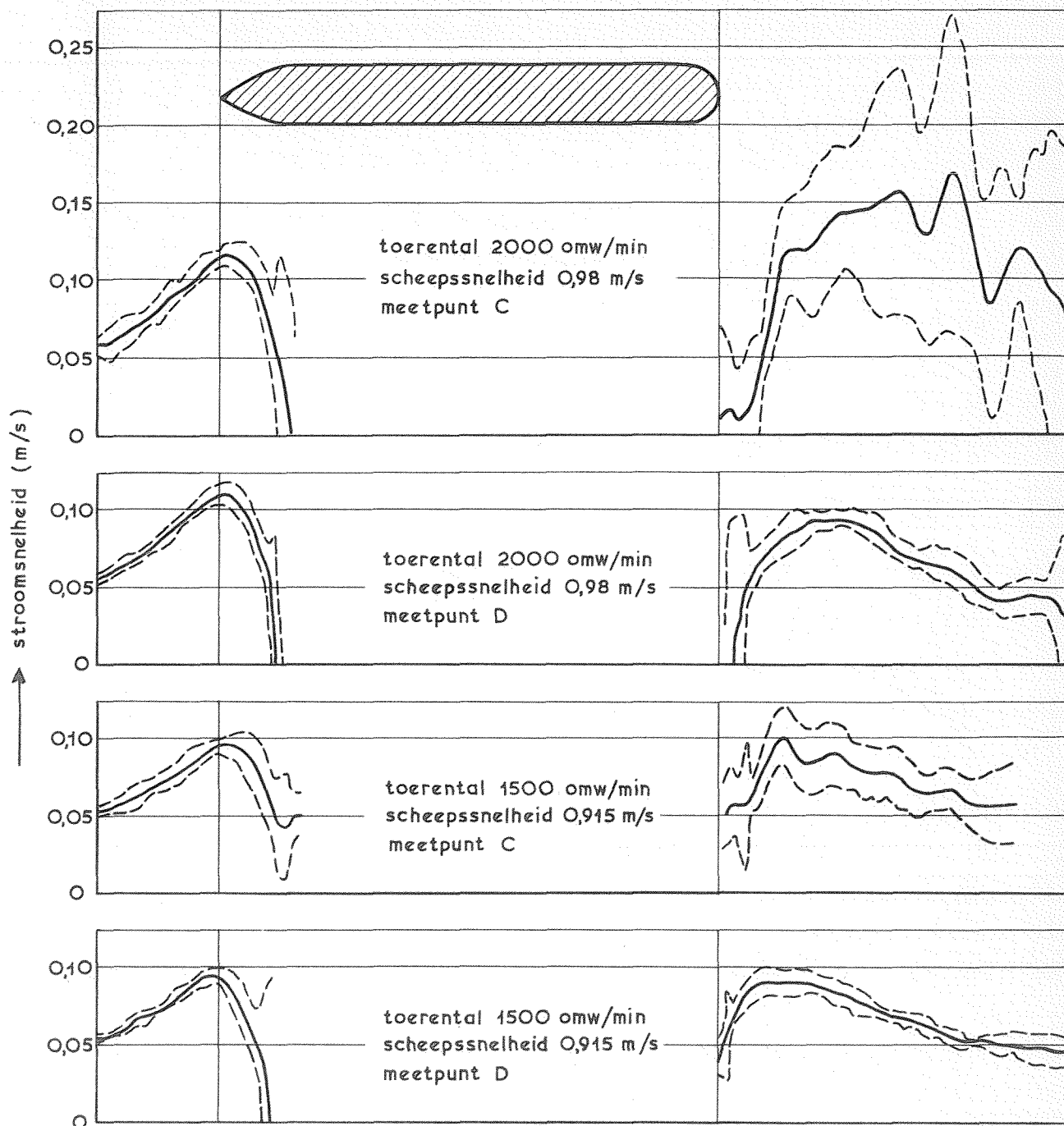


 gemiddelde watersnelheid met 95% betrouwbaarheidsinterval, op basis van 10x varen met model R H K-schip, type „Johann Welker“ ($L=3,2\text{ m}$) door model van de Schelde-Rijnverbinding (schaal 1:25).

N.B. de retourstroom is niet uitgewerkt i.v.m. het droogvallen van de micromolen in meetpunt A

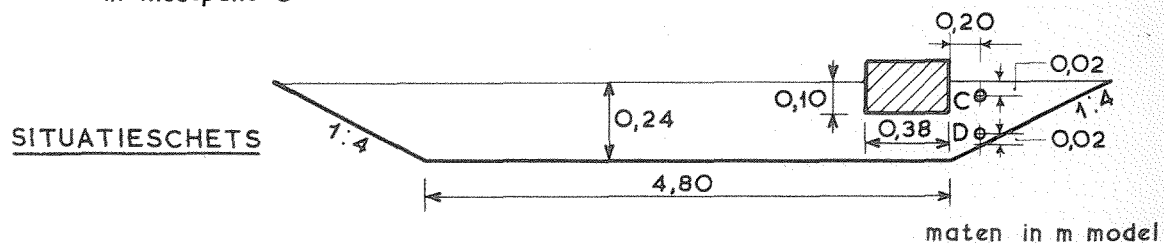


**BETROUWBAARHEIDSINTERVAL VOOR
WATERSNELHEDEN BOVEN HET TALUD (1)**

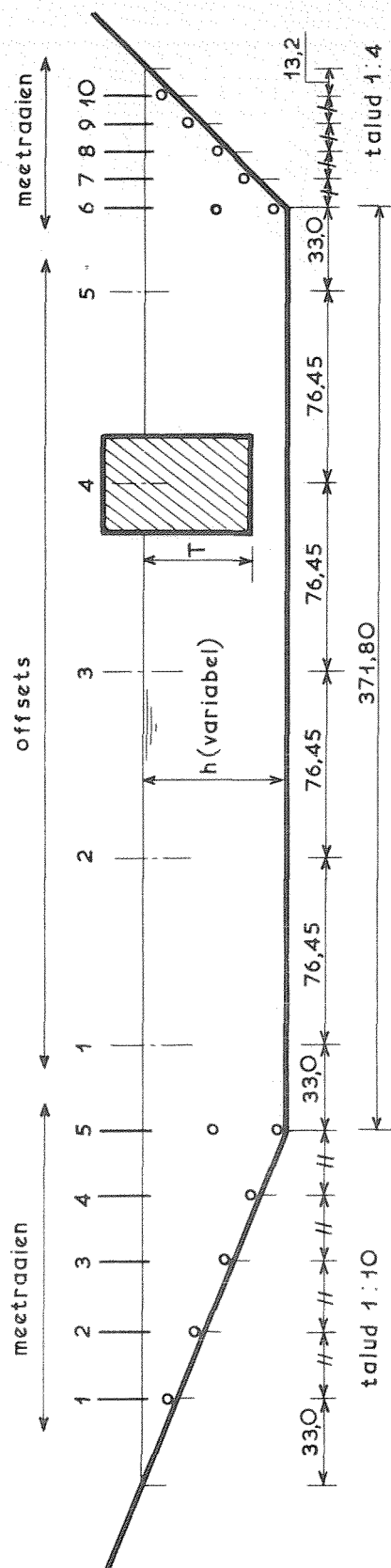
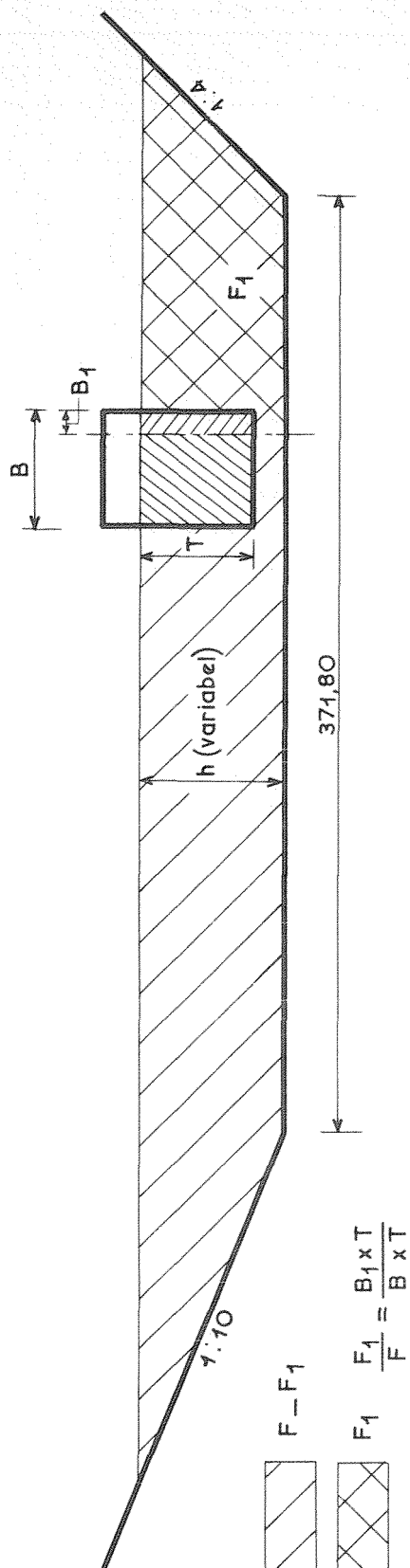


— gemiddelde watersnelheid met 95% betrouwbaarheidsinterval, op basis van 10x varen met model R H K-schip, type „Johann Welker“ ($L = 3,2\text{ m}$) door model van de Schelde-Rijnverbinding (schaal 1: 25)

N.B. de retourstroom is niet uitgewerkt i.v.m. het droogvallen van de micromolen in meetpunt C



BETROUWBAARHEIDSINTERVAL VOOR
WATERSNELHEDEN BOVEN HET TALUD (2)



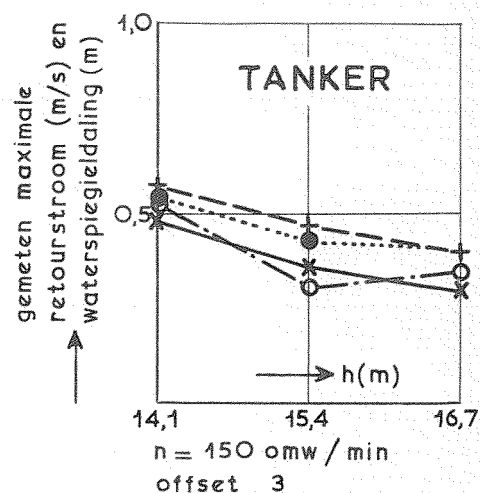
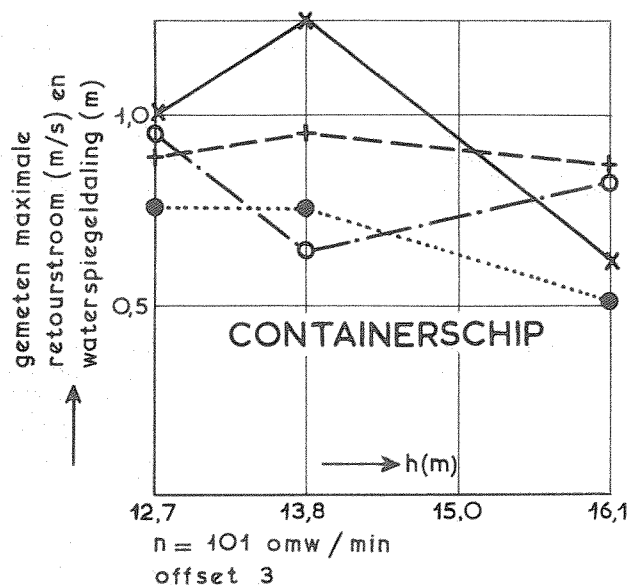
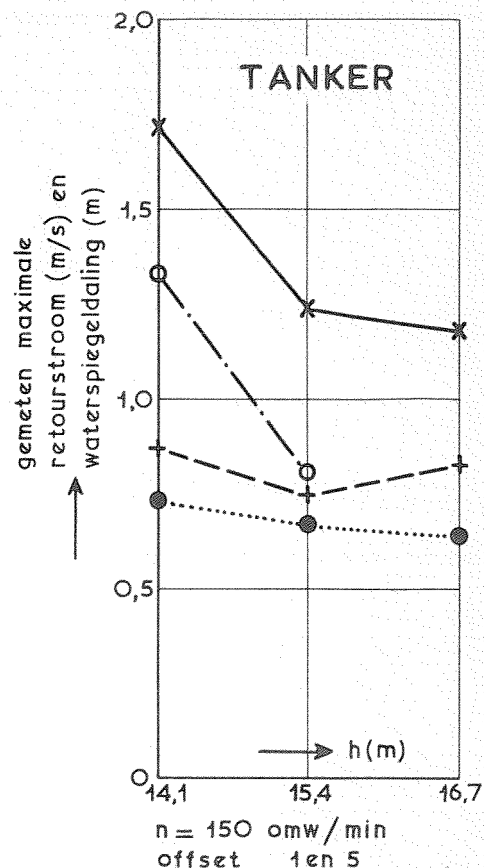
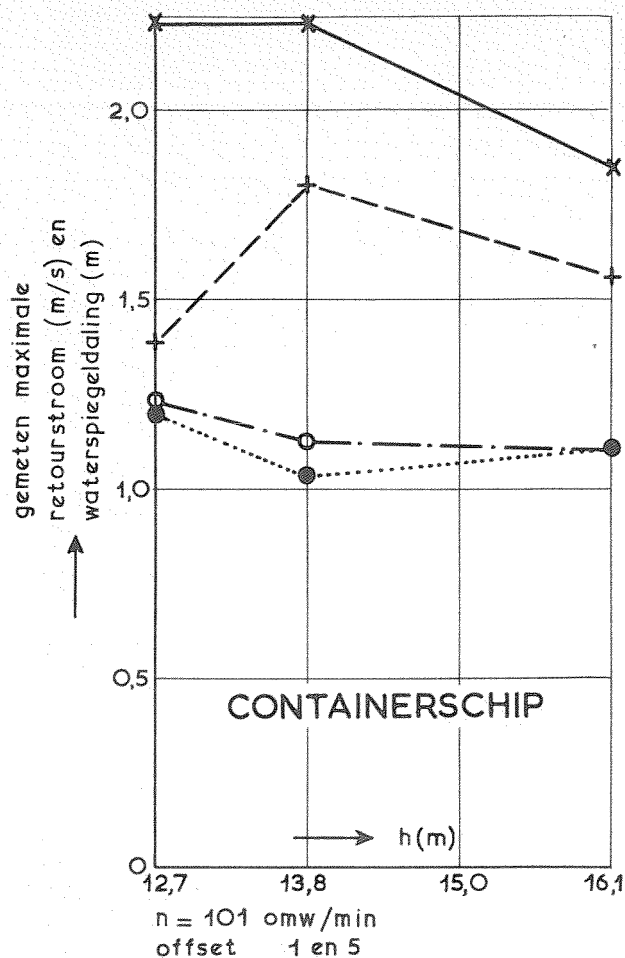
maten in m prototype

OVERZICHT DWARSPROFIEL

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

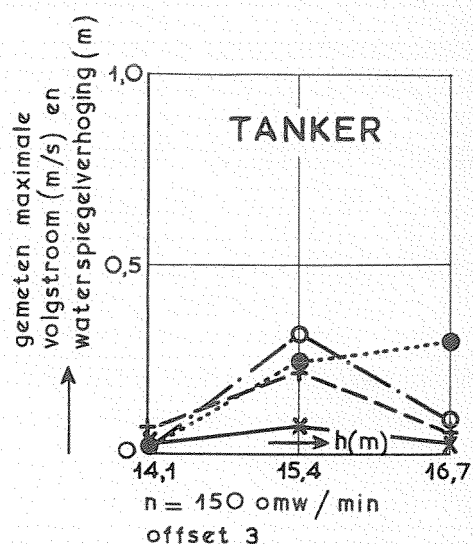
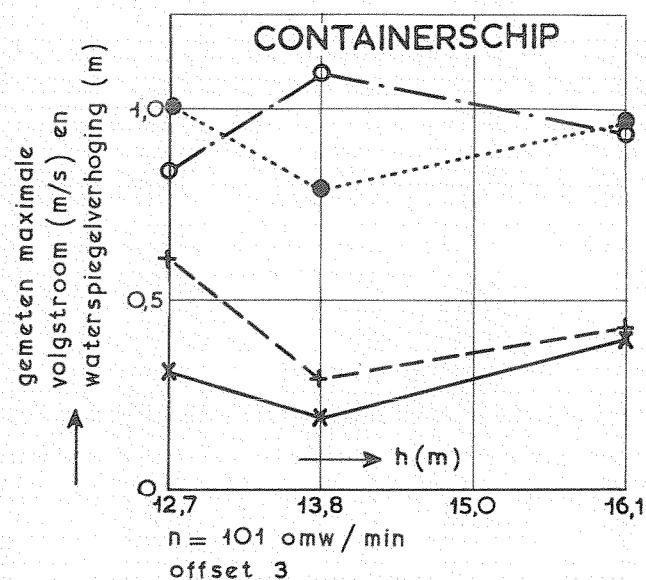
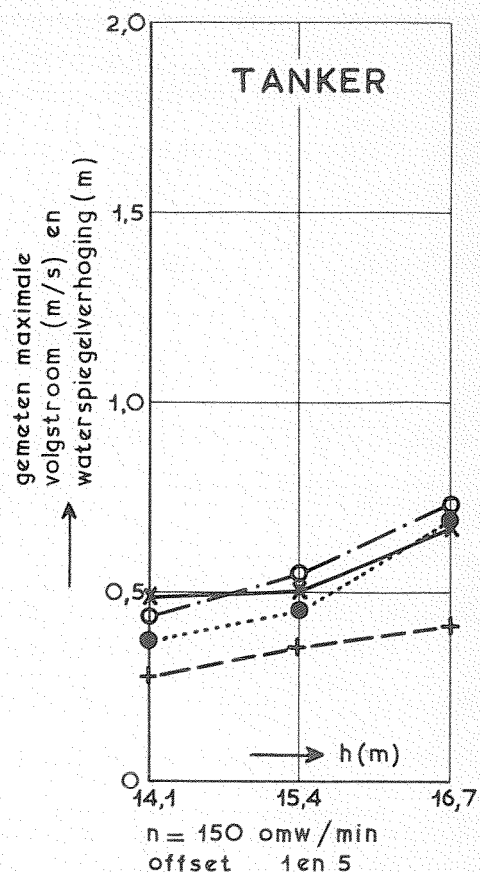
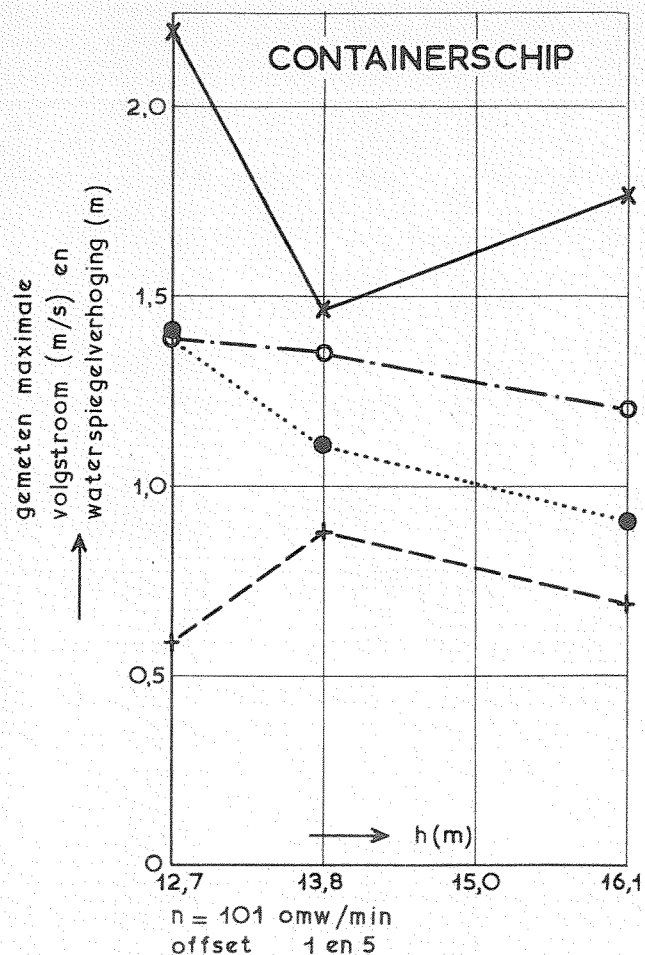
R. 840

FIG. 8



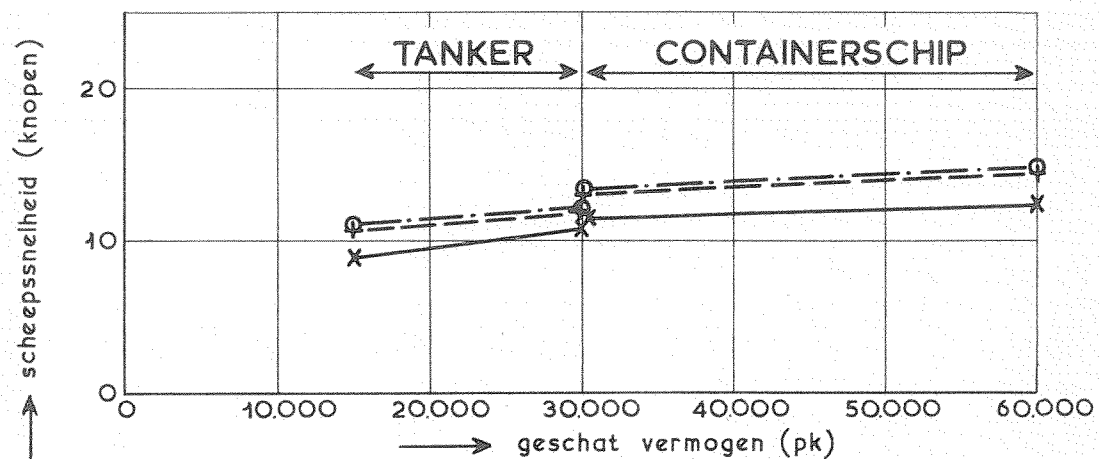
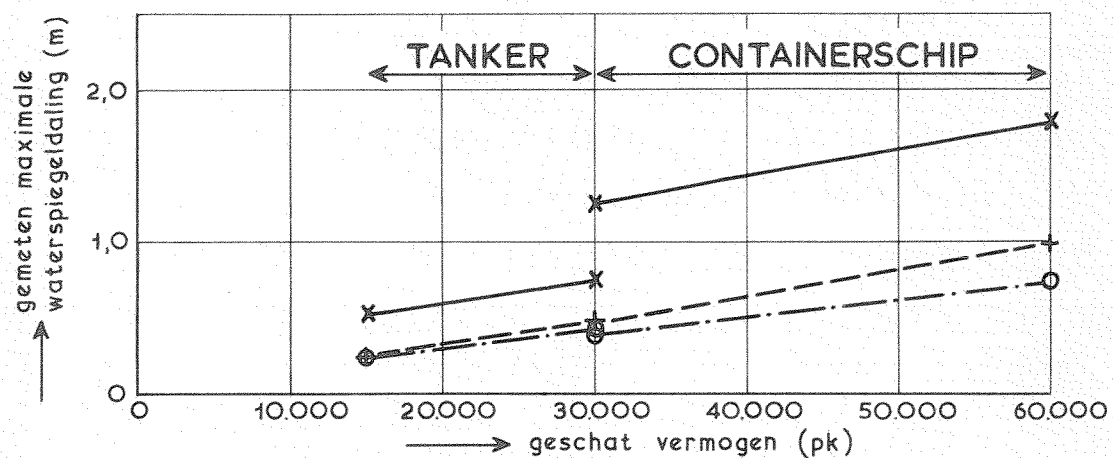
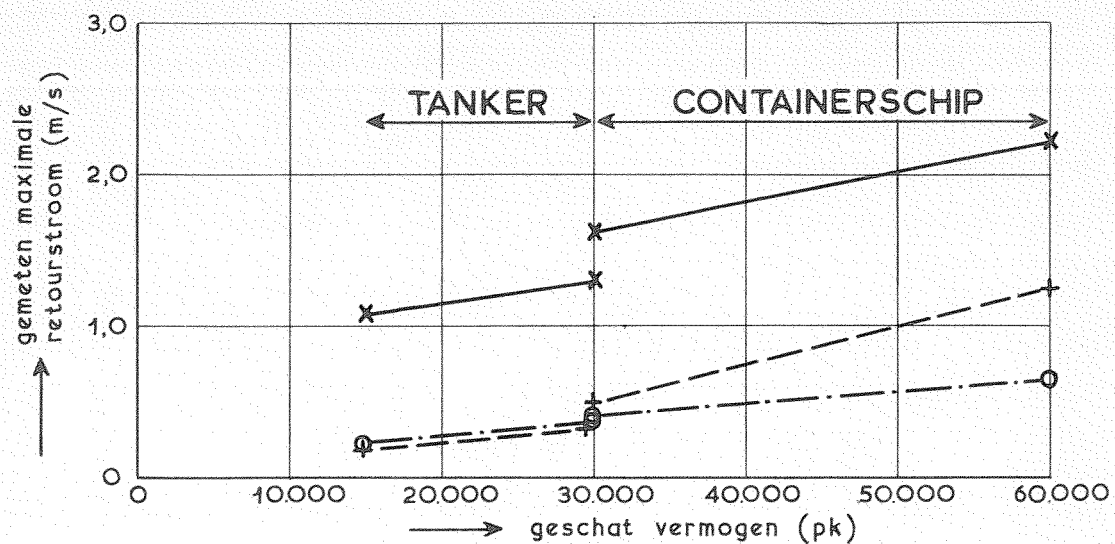
- x — x retourstroom boven talud 1:4, meetraai 8
- o — o retourstroom boven talud 1:10, meetraai 3
- + — + waterspiegeldaling boven talud 1:4, meetraai 8
- — • waterspiegeldaling boven talud 1:10, meetraai 3

INVLOED VAN DE WATERDIEPTE OP DE
WATERBEWEGING NAAST HET SCHIP



- x — x volgstroom boven talud 1:4, meetraai 10
- o — o volgstroom boven talud 1:10, meetraai 1
- + — + waterspiegelverhoging boven talud 1:4, meetraai 10
- — ● waterspiegelverhoging boven talud 1:10, meetraai 1

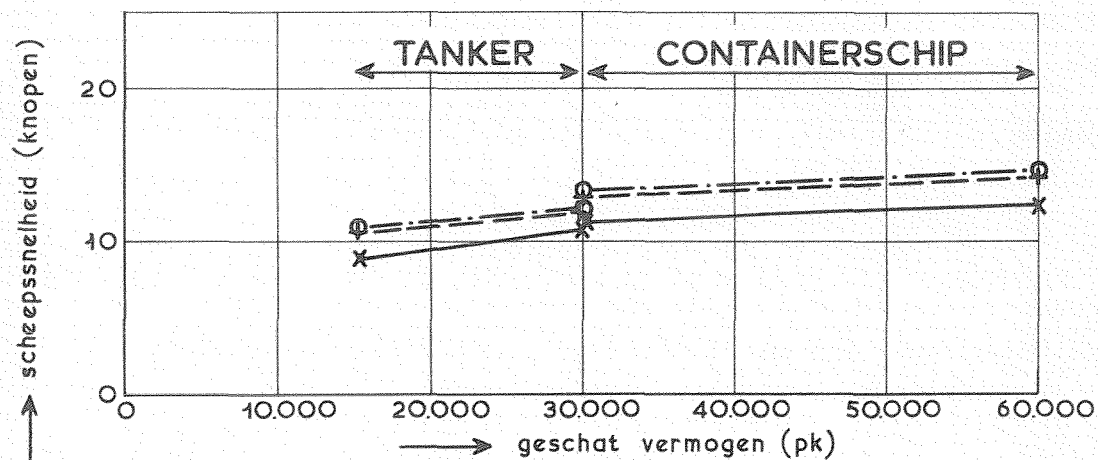
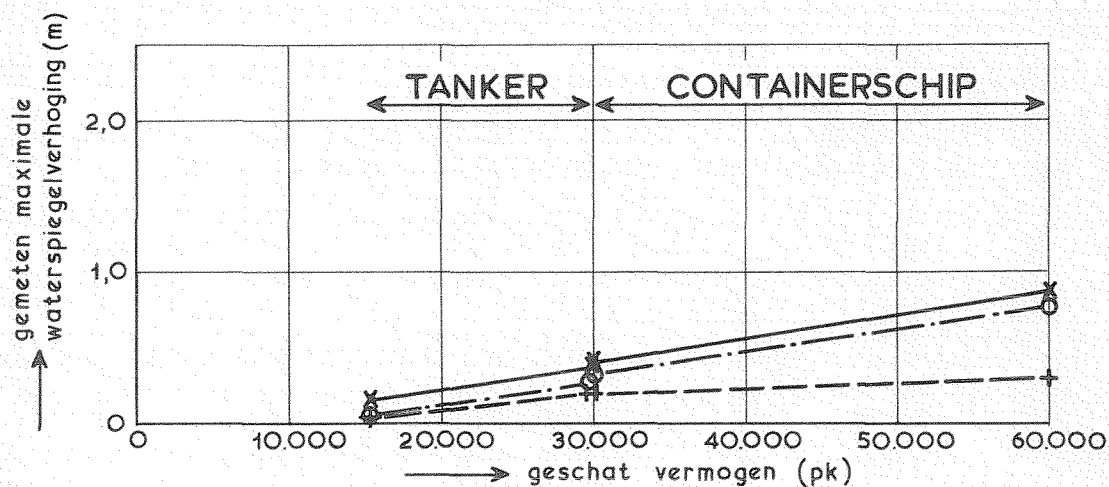
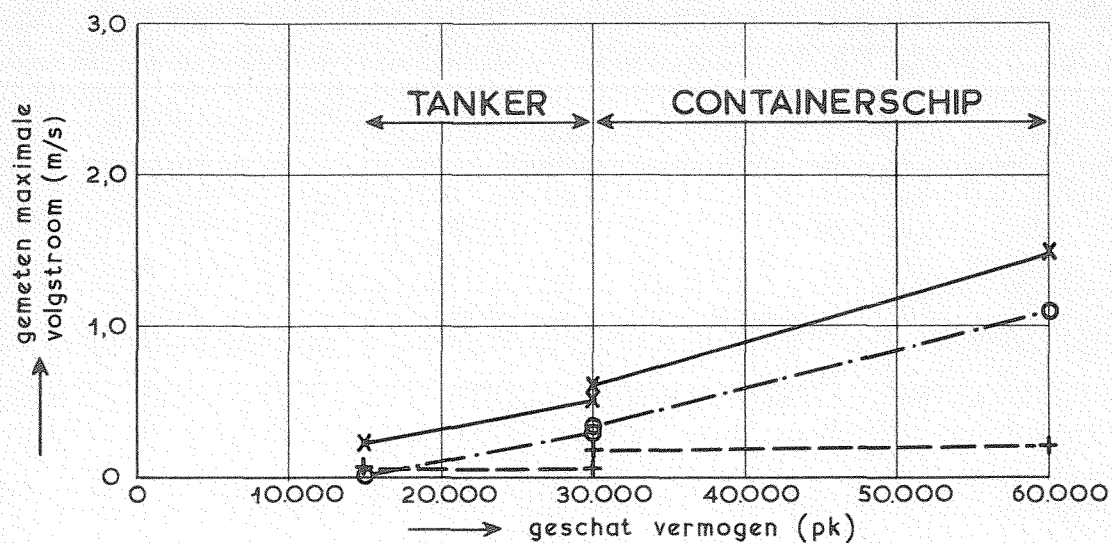
INVLOED VAN DE WATERDIEPTE OP DE
WATERBEWEGING ACHTER HET SCHIP



$h/T = 1,2$ (tanker : $h = 15,4$ m; containerschip: $h = 13,8$ m)

- x — x talud 1:4, offset 5, meetraai 8
- + — + talud 1:4, offset 3, meetraai 8
- o — o talud 1:10, offset 3, meetraai 3

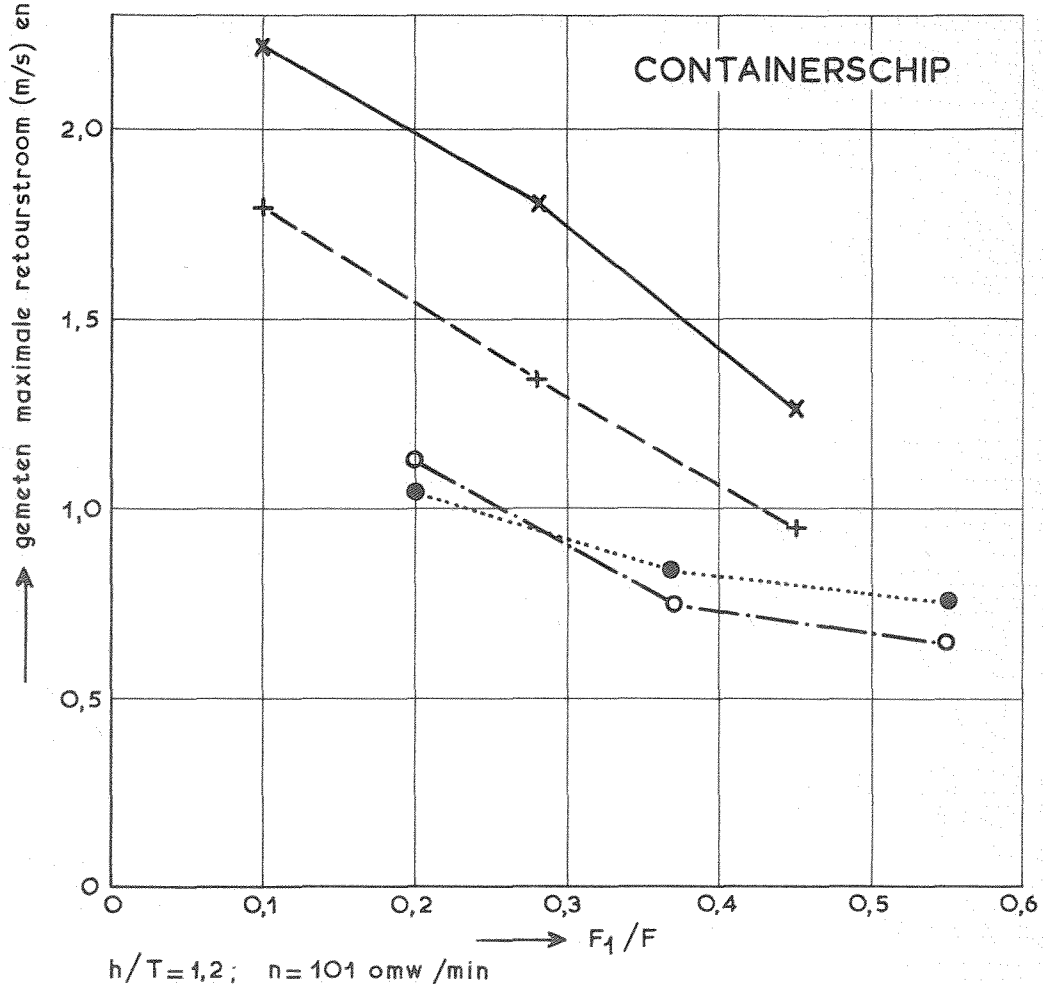
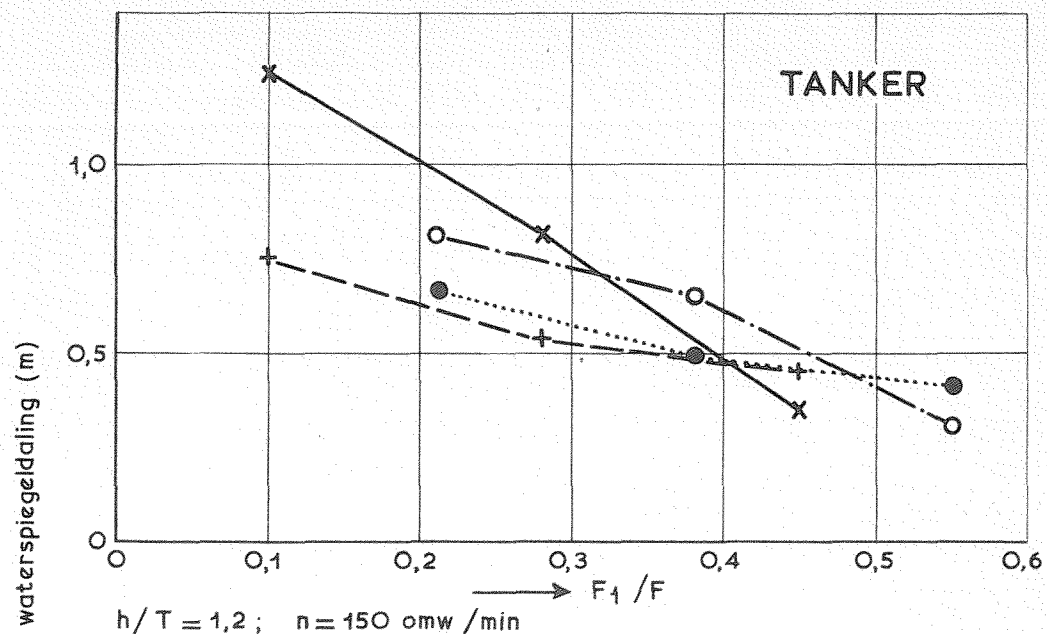
INVLOED VAN HET VERMOGEN OP DE
WATERBEWEGING NAAST HET SCHIP



$h/T = 1,2$ (tanker: $h = 15,4$ m; containerschip: $h = 13,8$ m)

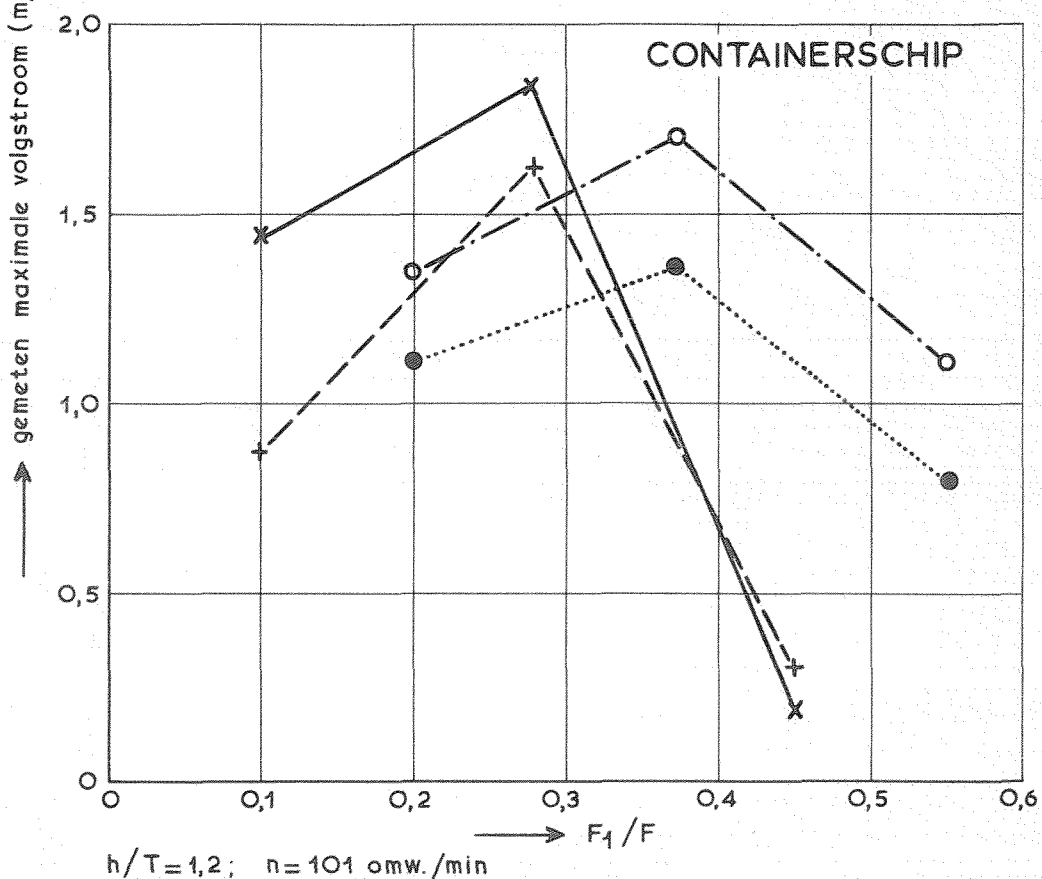
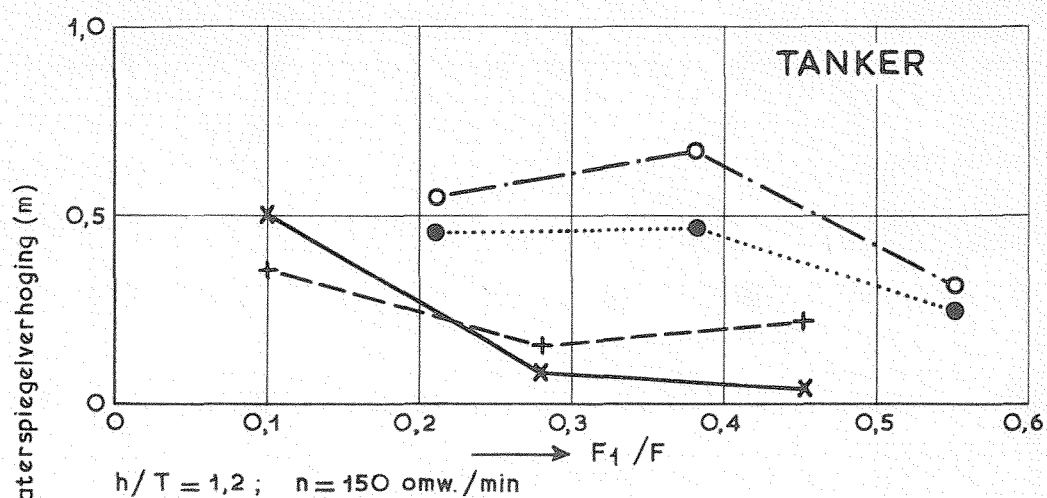
- x — x talud 1:4, offset 5, meetraai 10
- + — + talud 1:4, offset 3, meetraai 10
- o — o talud 1:10, offset 3, meetraai 1

INVLOED VAN HET VERMOGEN OP DE
WATERBEWEGING ACHTER HET SCHIP

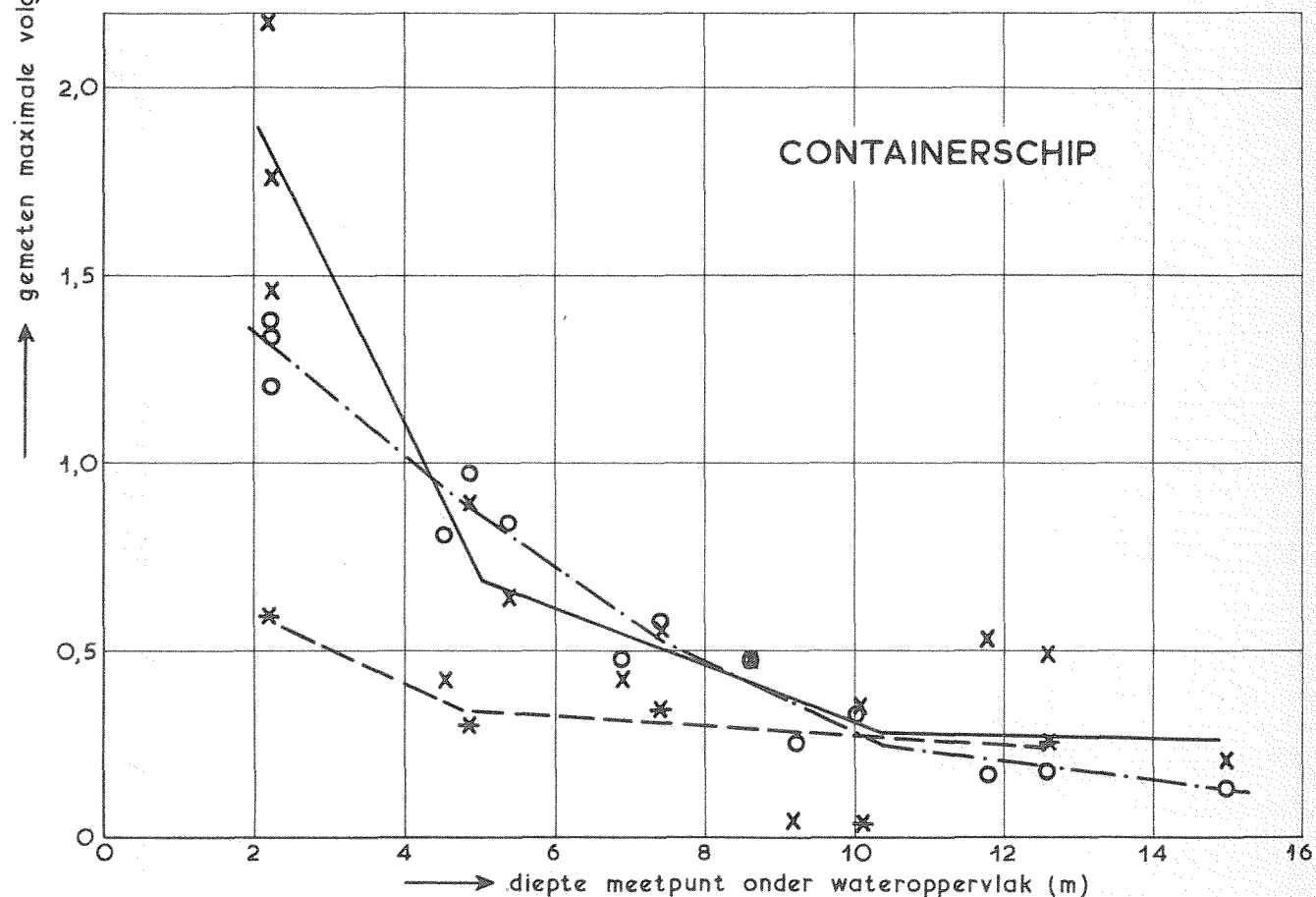
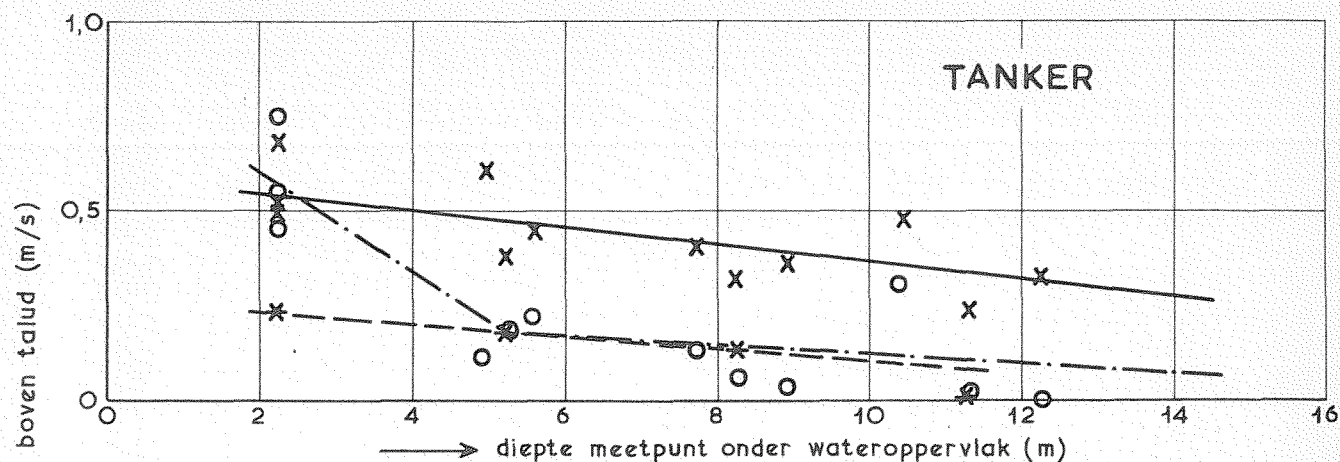


- x — x retourstroom, talud 1:4 meetraai 8
- + — + waterspiegeldaling, talud 1:4 meetraai 8
- — ○ retourstroom, talud 1:10 meetraai 3
- — ● waterspiegeldaling, talud 1:10 meetraai 3

INVLOED VAN DE PLAATS VAN HET SCHIP IN
HET DWARSPROFIEL OP DE WATERBEWEGING (1)

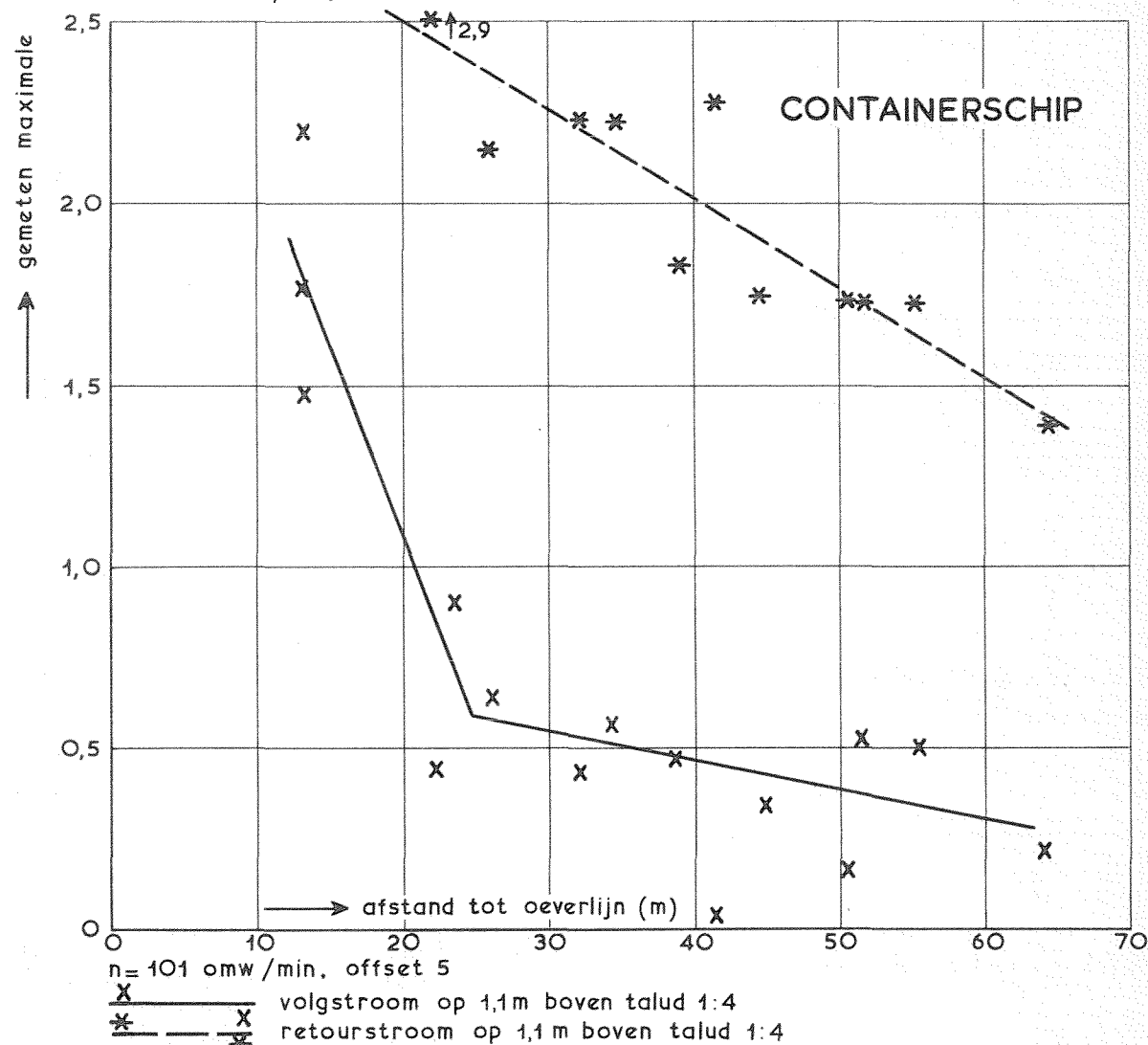
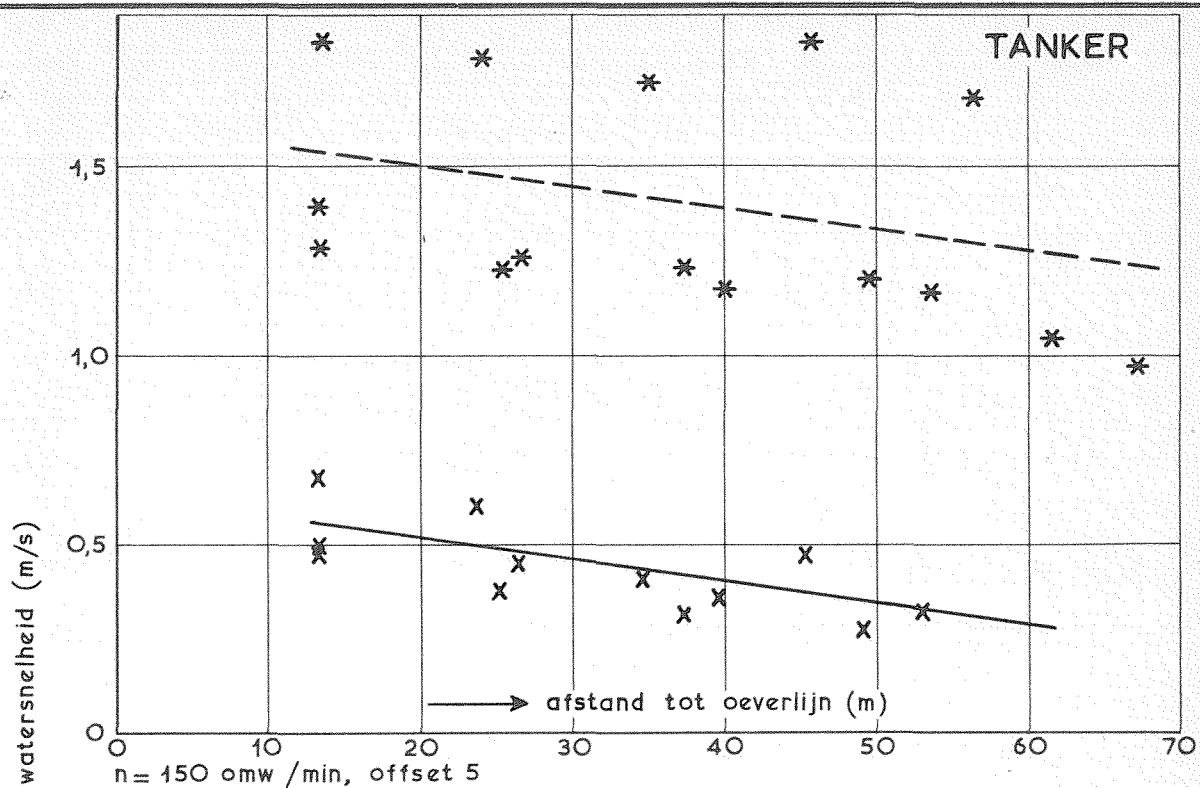


INVLOED VAN DE PLAATS VAN HET SCHIP IN
HET DWARSPROFIEL OP DE WATERBEWEGING (2)

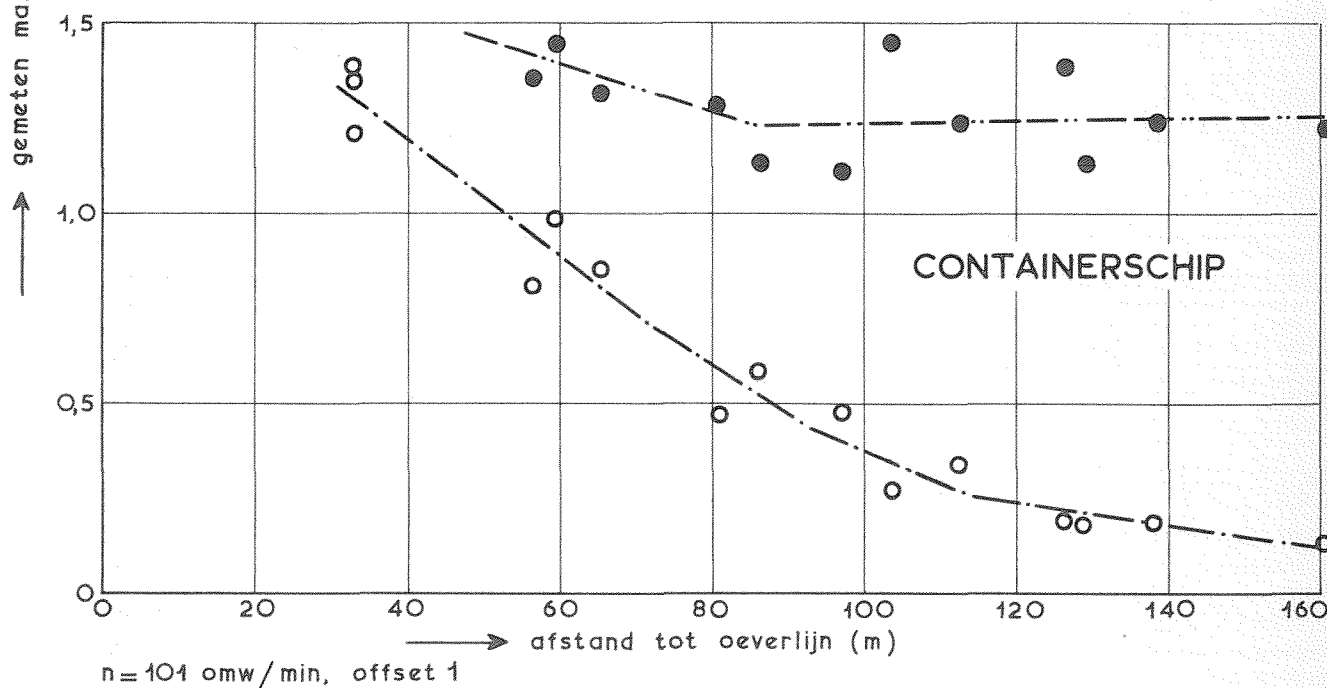
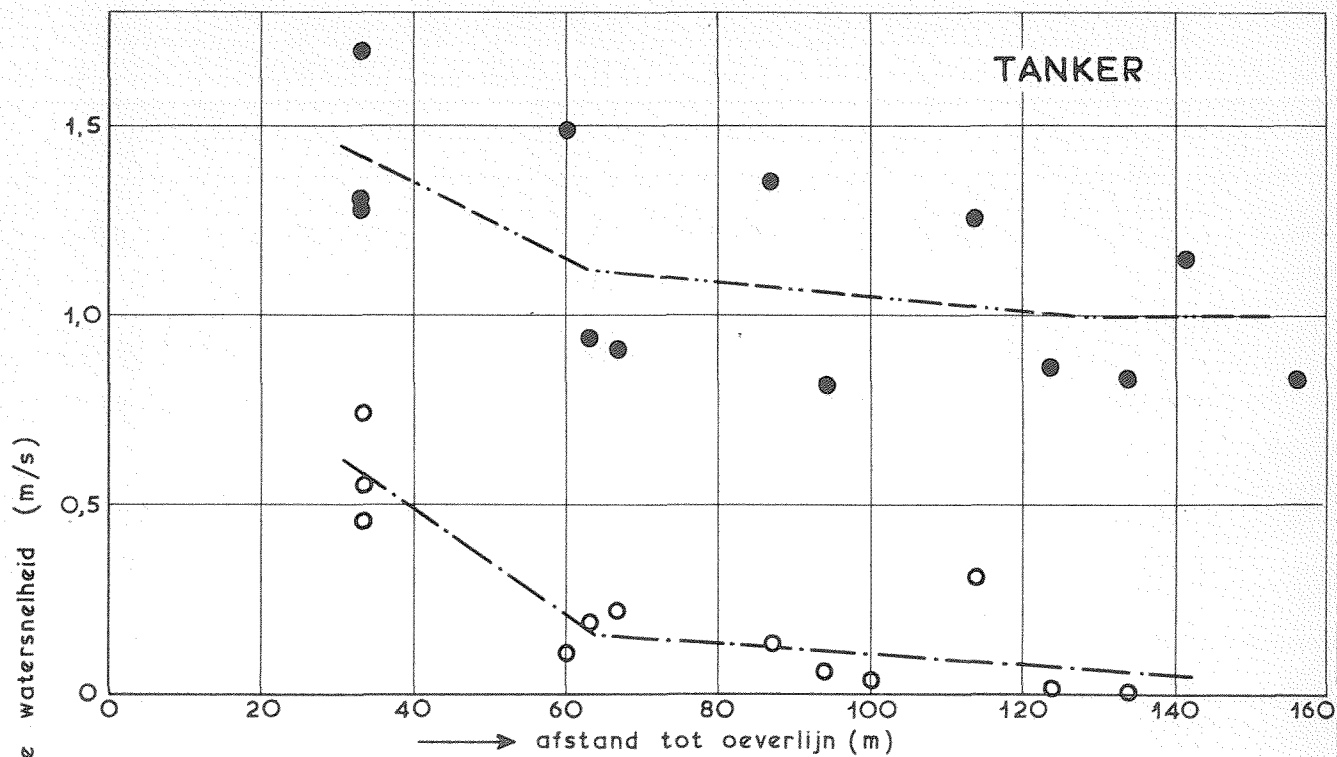


N.B. In de grafiek zijn alle onderzochte h/T -verhoudingen weergegeven

INVLOED VAN DE DIEPTE ONDER HET
WATEROPPERVLAK OP DE VOLGSTROOM

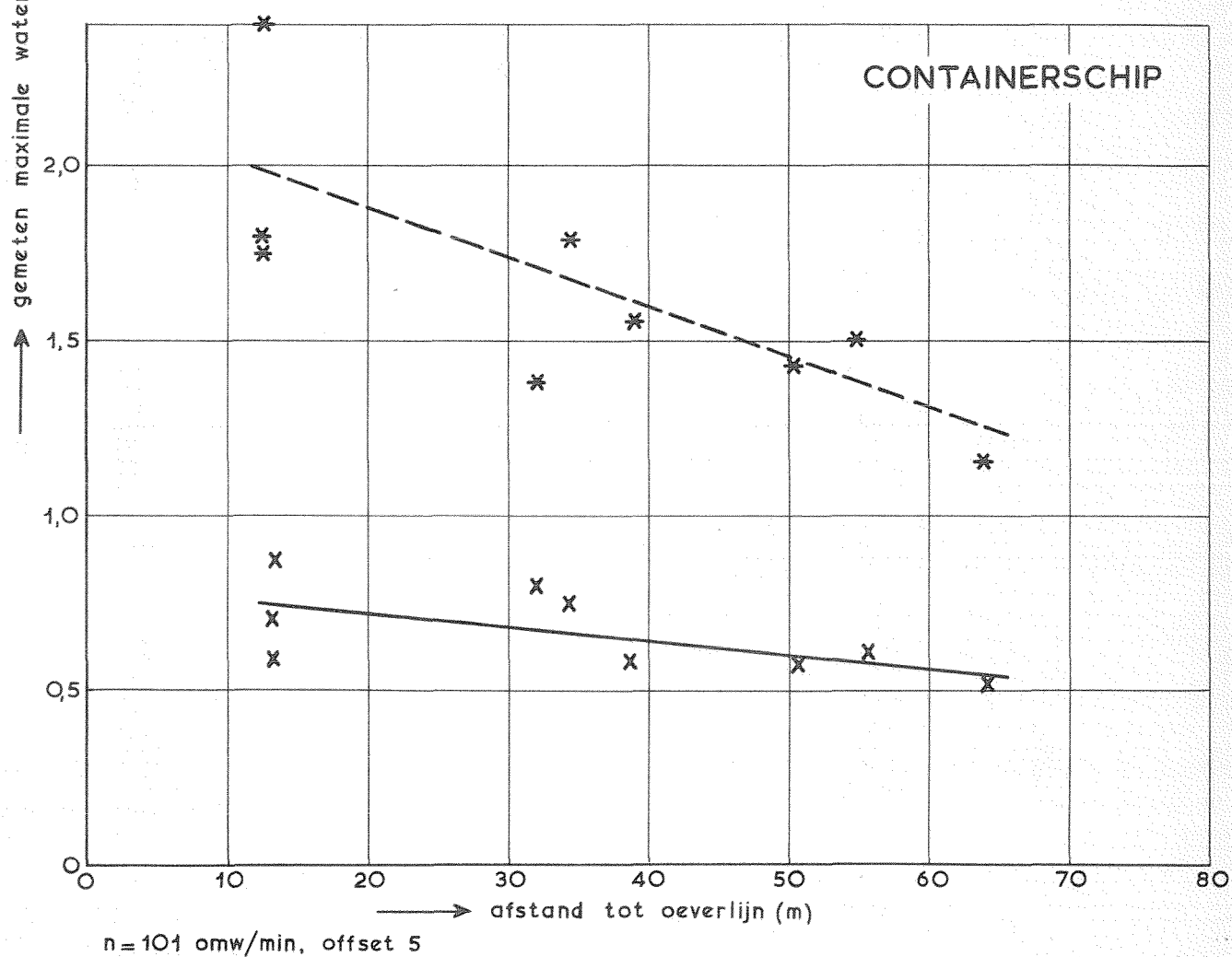
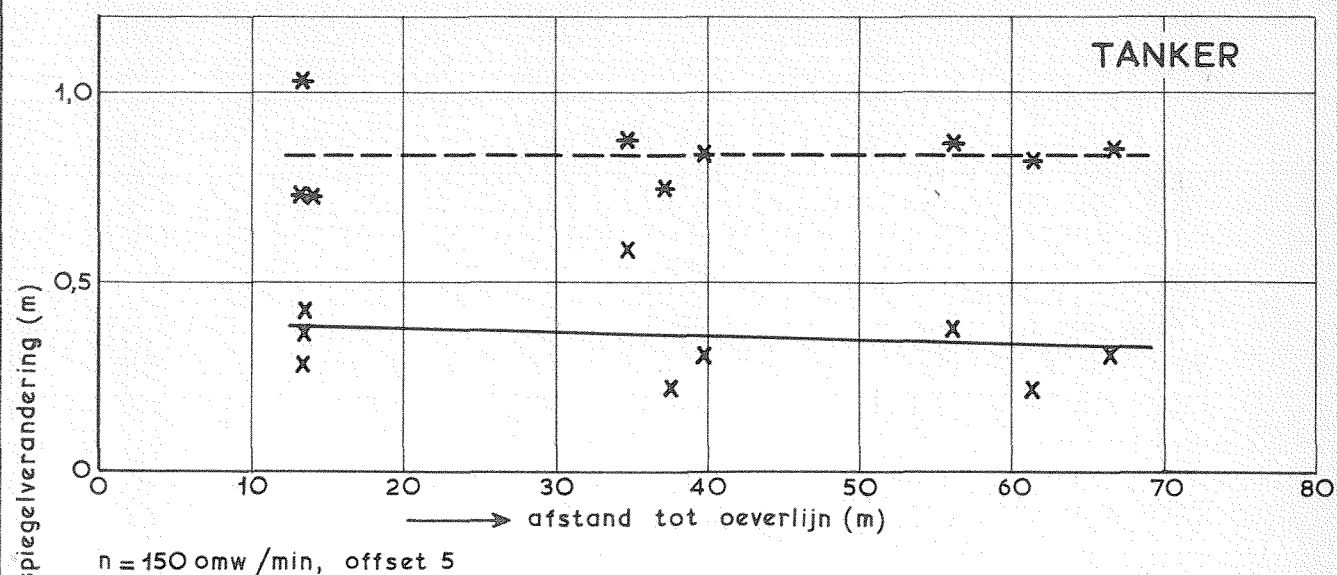


INVLOED VAN DE AFSTAND TOT DE OEVERLIJN
OP DE WATERSNELHEDEN (1)

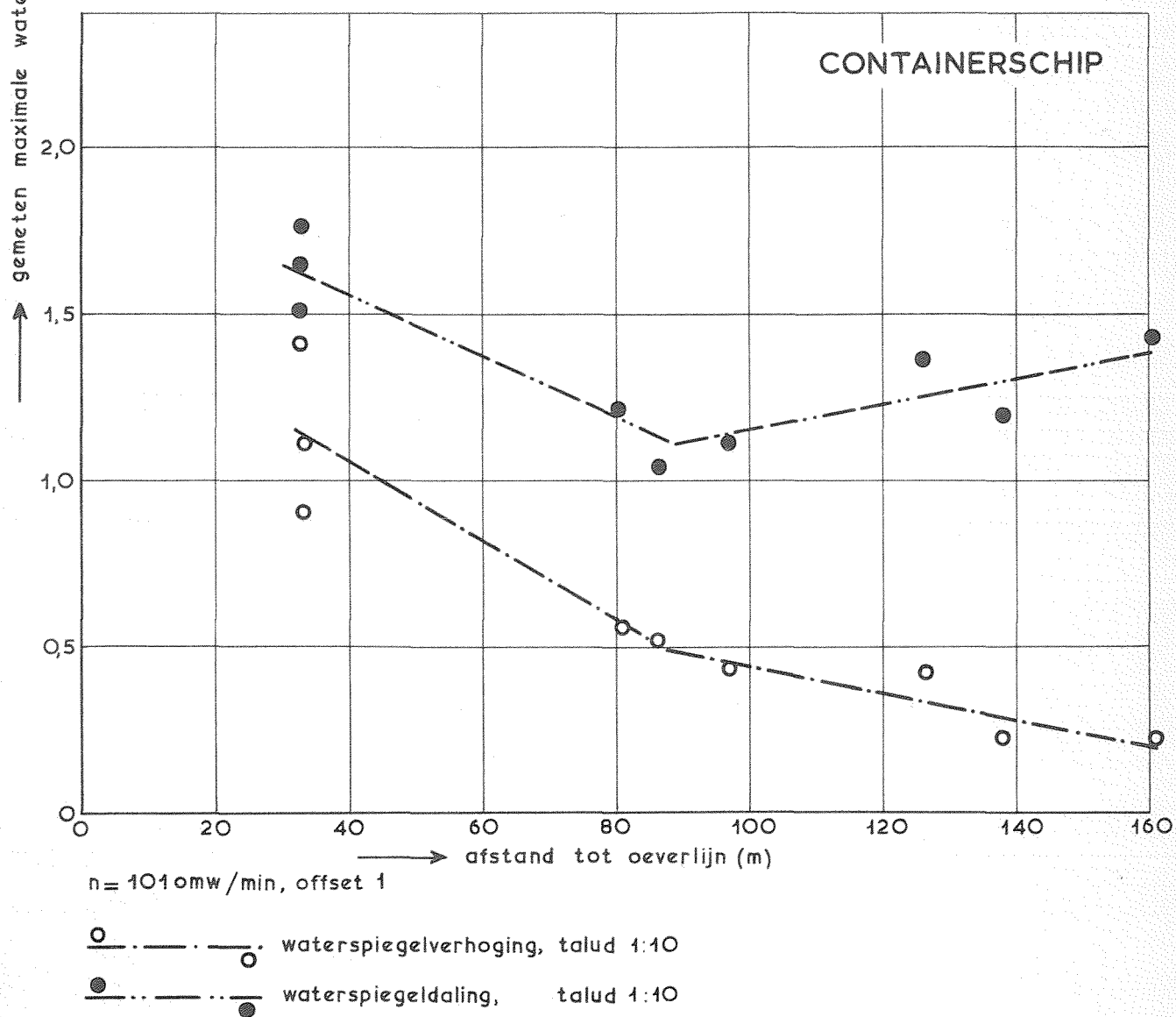
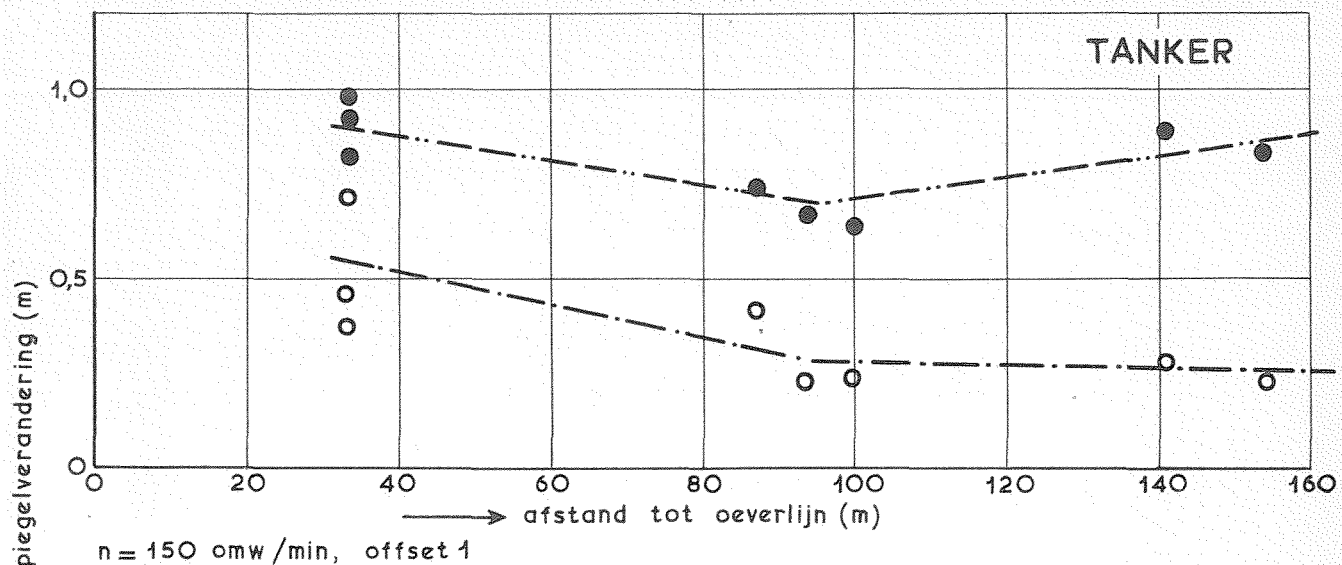


○ — — — — — ○ volgstroom op 1,1m boven talud 1:10
 ● — — — — — ● retourstroom op 1,1m boven talud 1:10

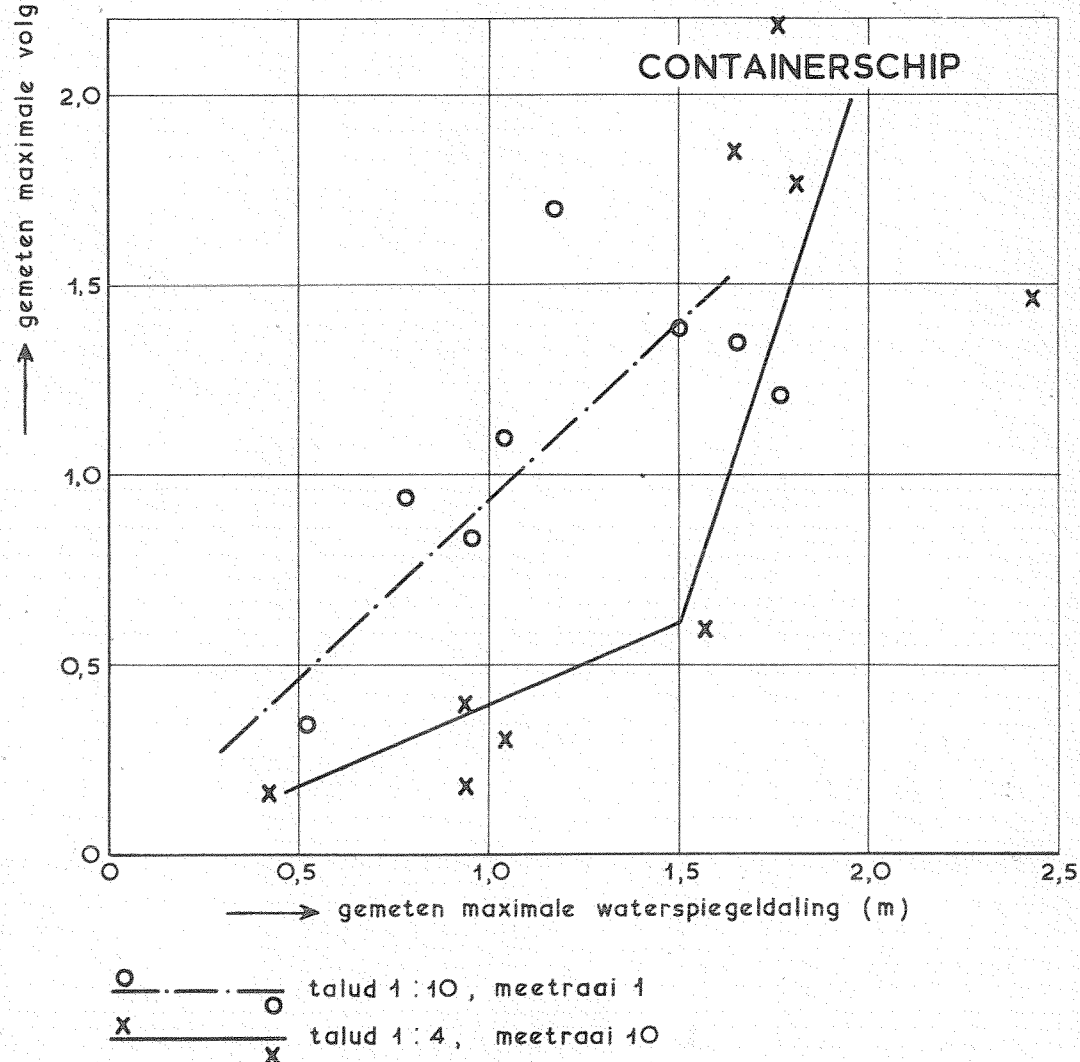
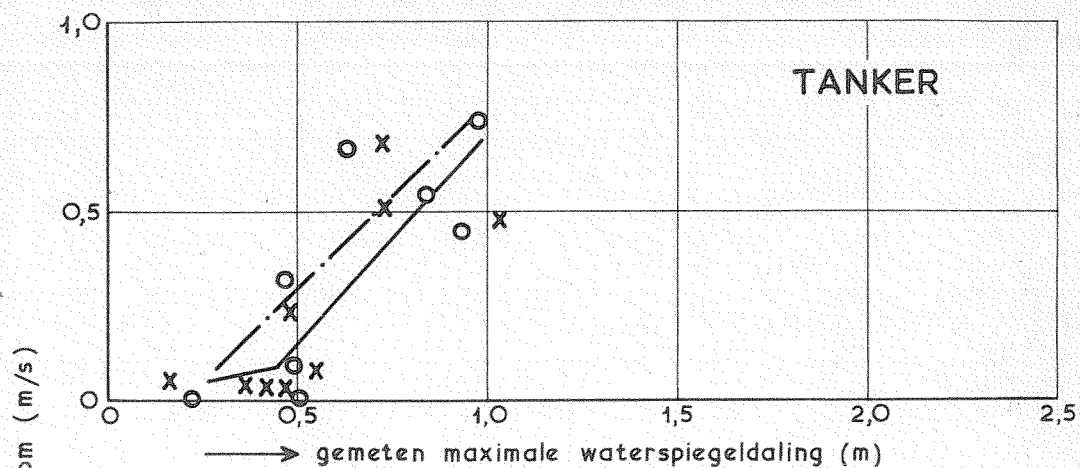
INVLOED VAN DE AFSTAND TOT DE OEVERLIJN
 OP DE WATERSNELHEDEN (2)



INVLOED VAN DE AFSTAND TOT DE OEVERLIJN
OP DE WATERSPIEGELVERANDERINGEN (1)



INVLOED VAN DE AFSTAND TOT DE OEVERLIJN
OP DE WATERSPIEGELVERANDERINGEN (2)



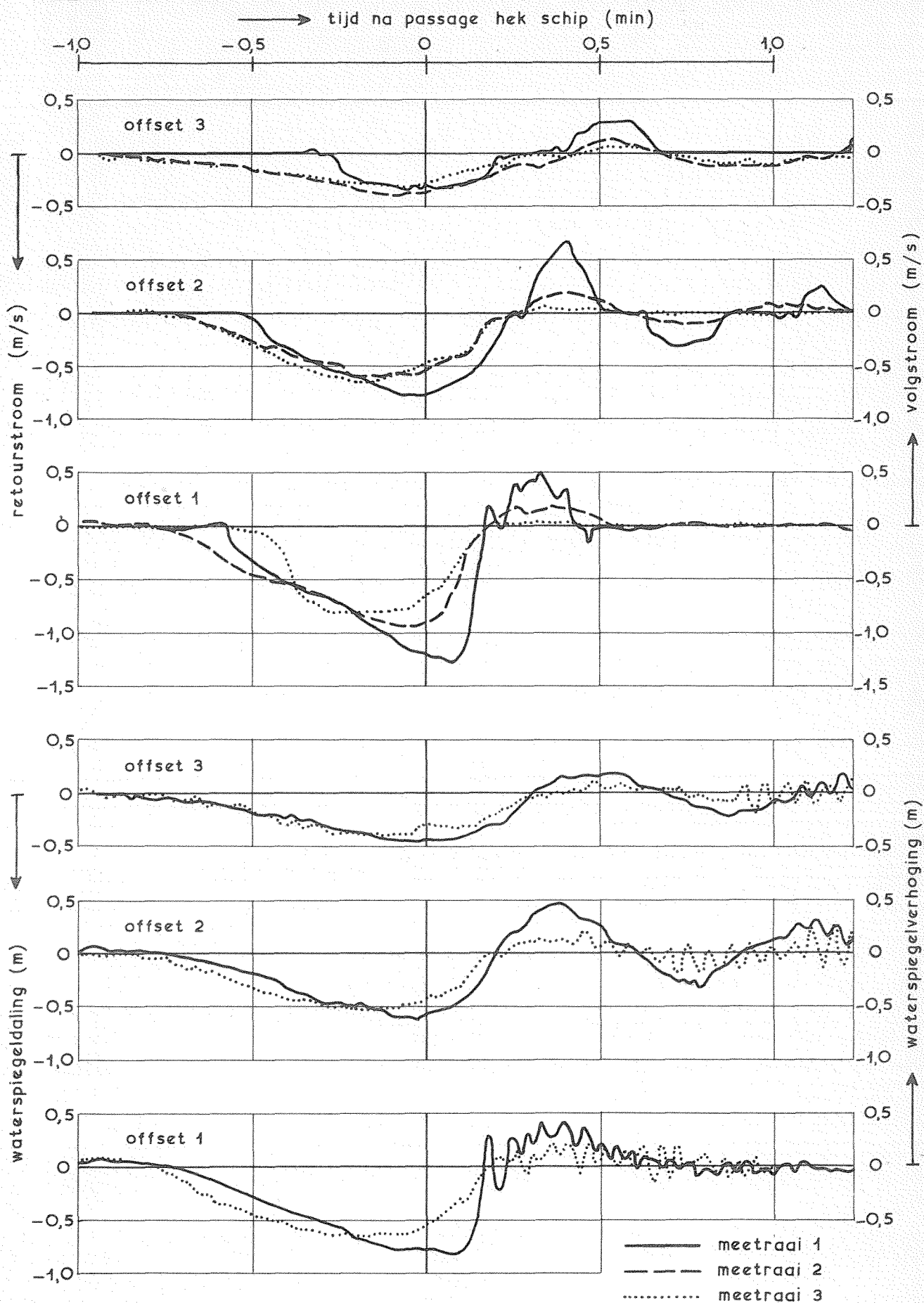
De aangegeven lijnen hebben slechts de bedoeling, de ligging van de meetpunten overzichtelijker te maken.

**VERBAND TUSSEN WATERSPIEGELDALING
EN VOLGSTROOM**

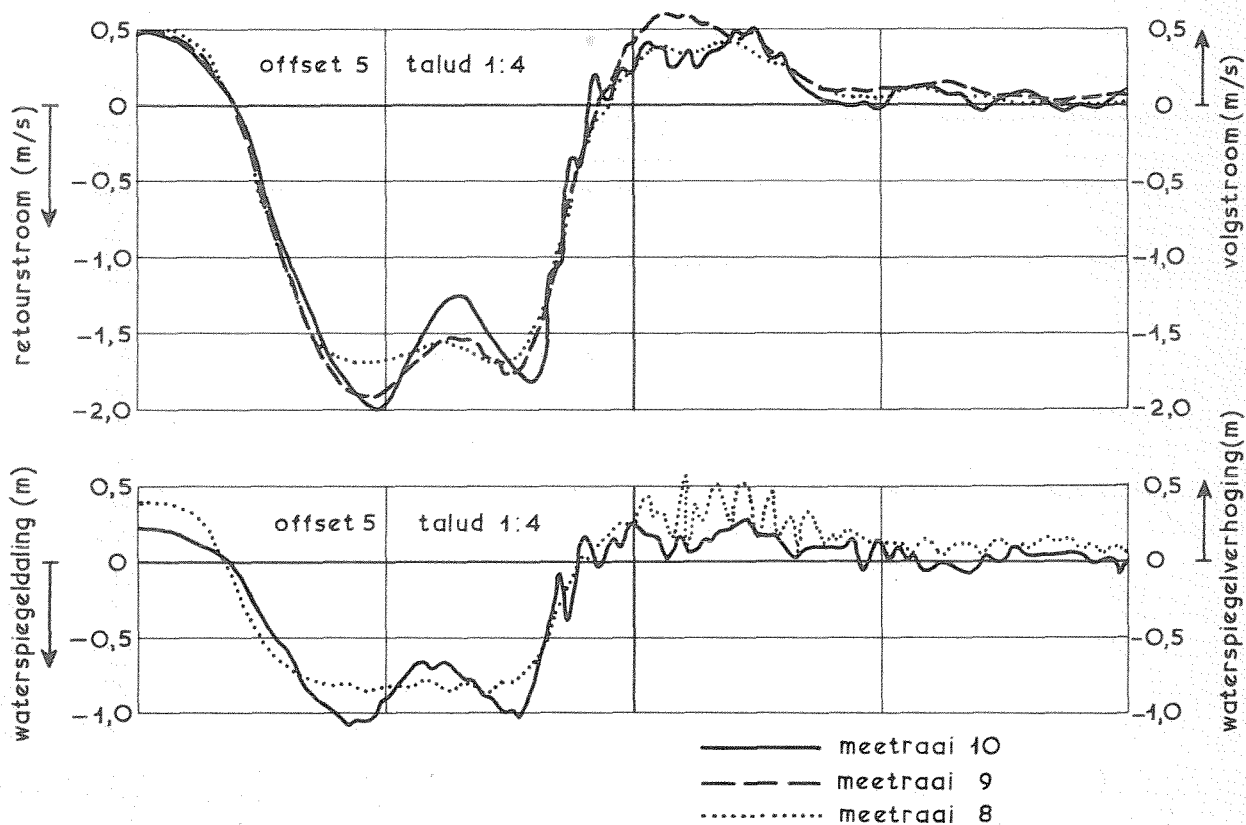
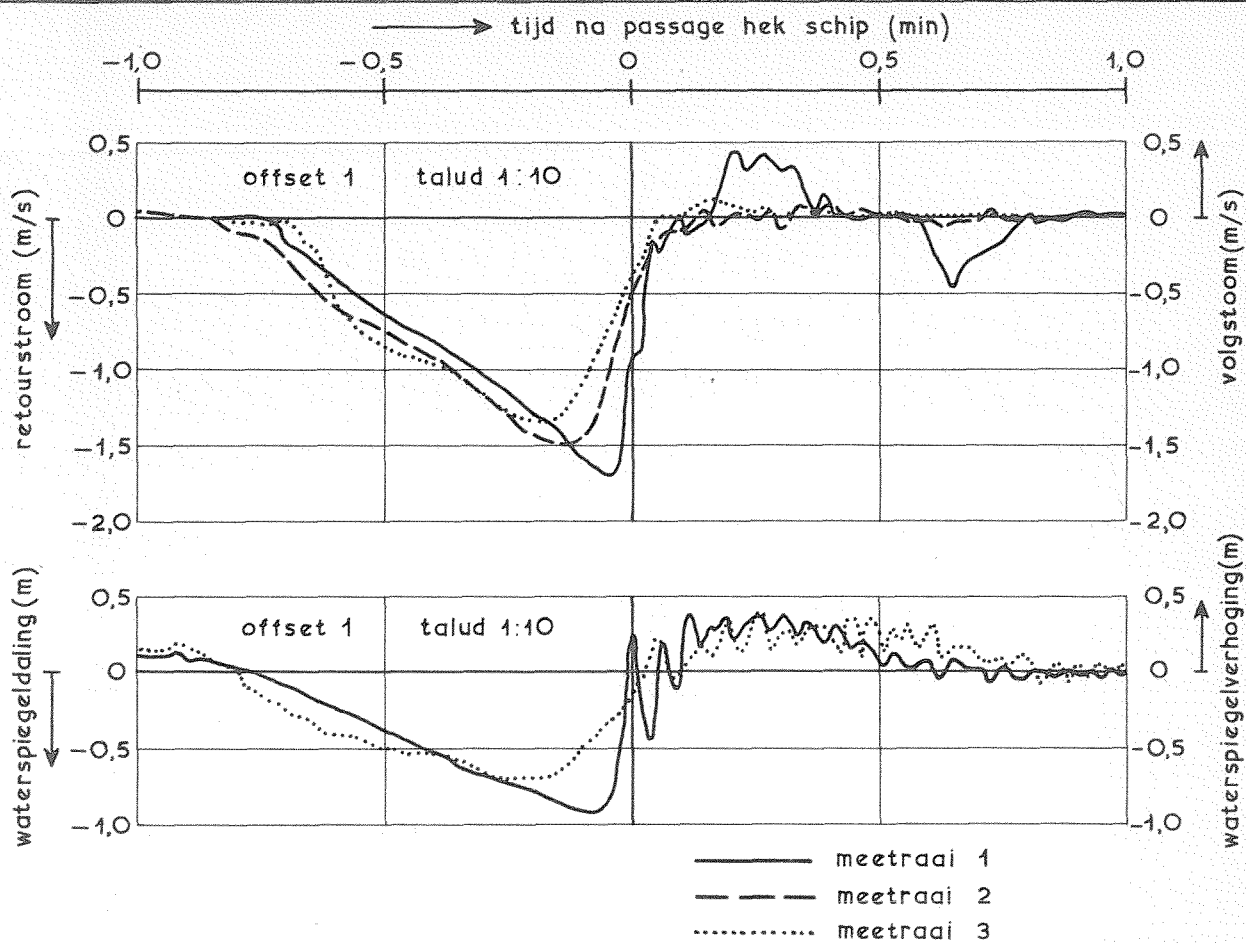
WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

R. 840

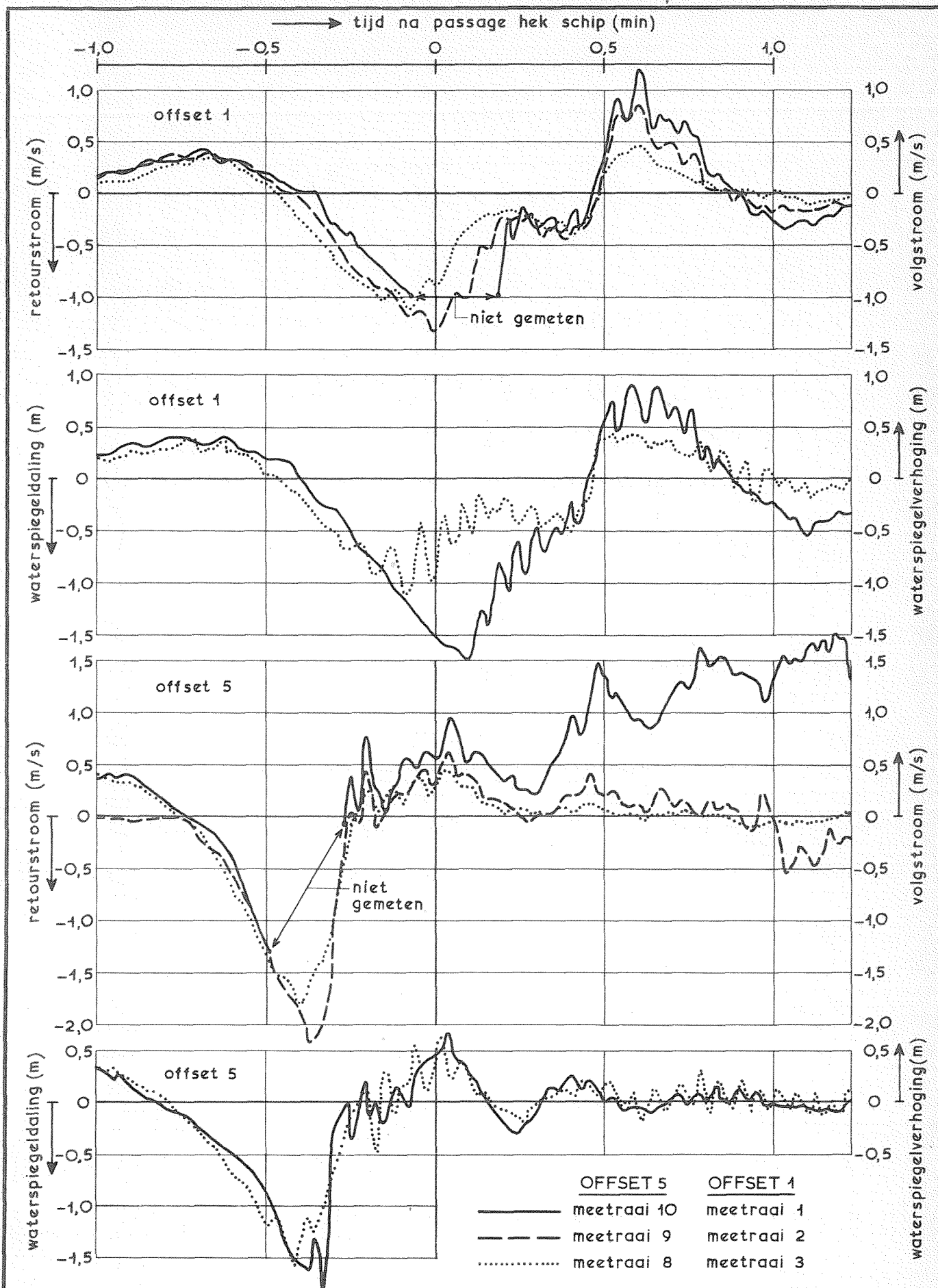
FIG. 20



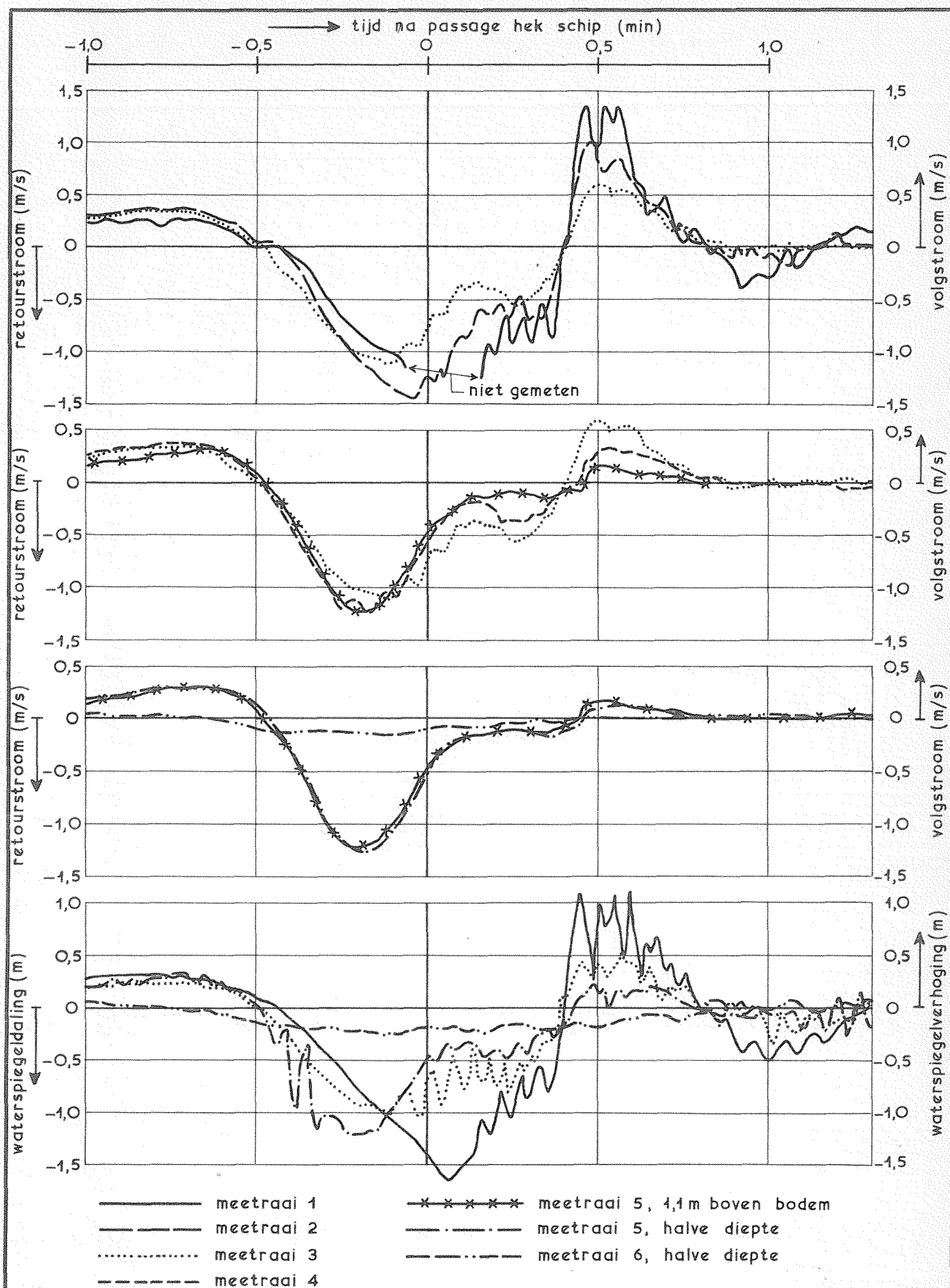
WATERBEWEGING BOVEN TALUD 1:10 BIJ DE
TANKER ($h/T = 1,2$; $n = 150$ omw /min)



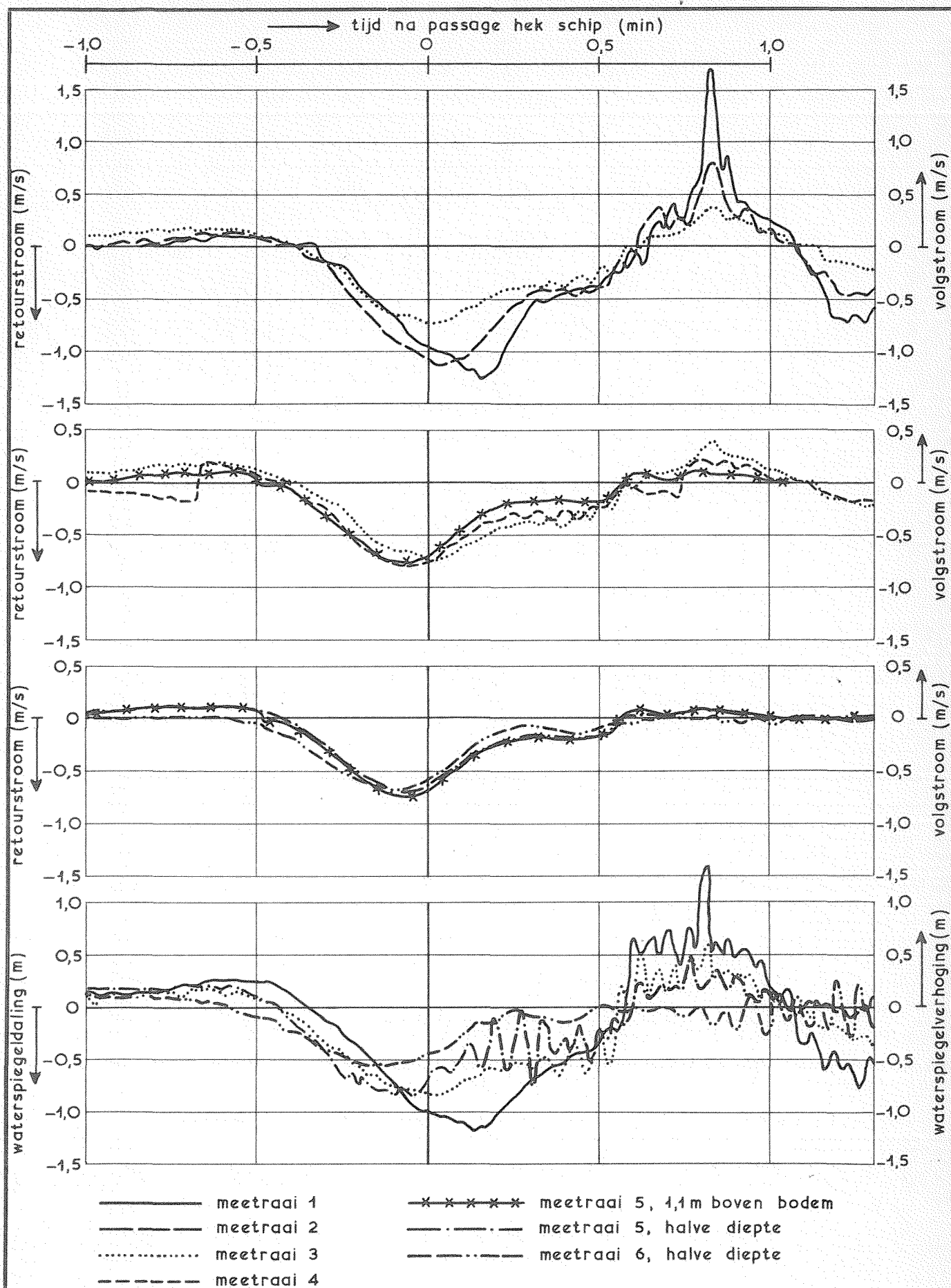
WATERBEWEGING BIJ DE TANKER
($h/T=1,1$; $n=150$ omw/min)



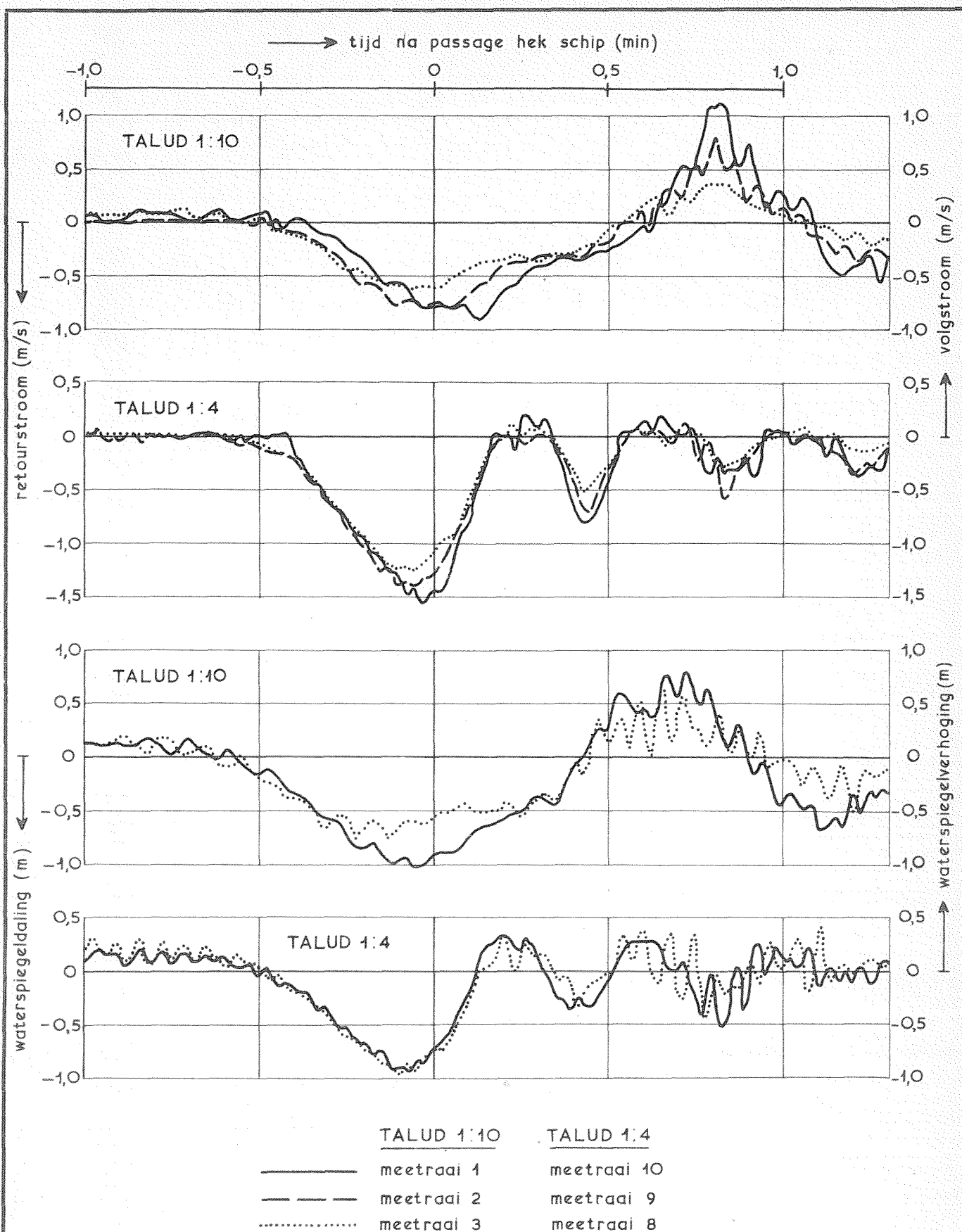
WATERBEWEGING BIJ HET CONTAINERSCHIP
($h/T = 1,4$; $n = 101$ omw/min)



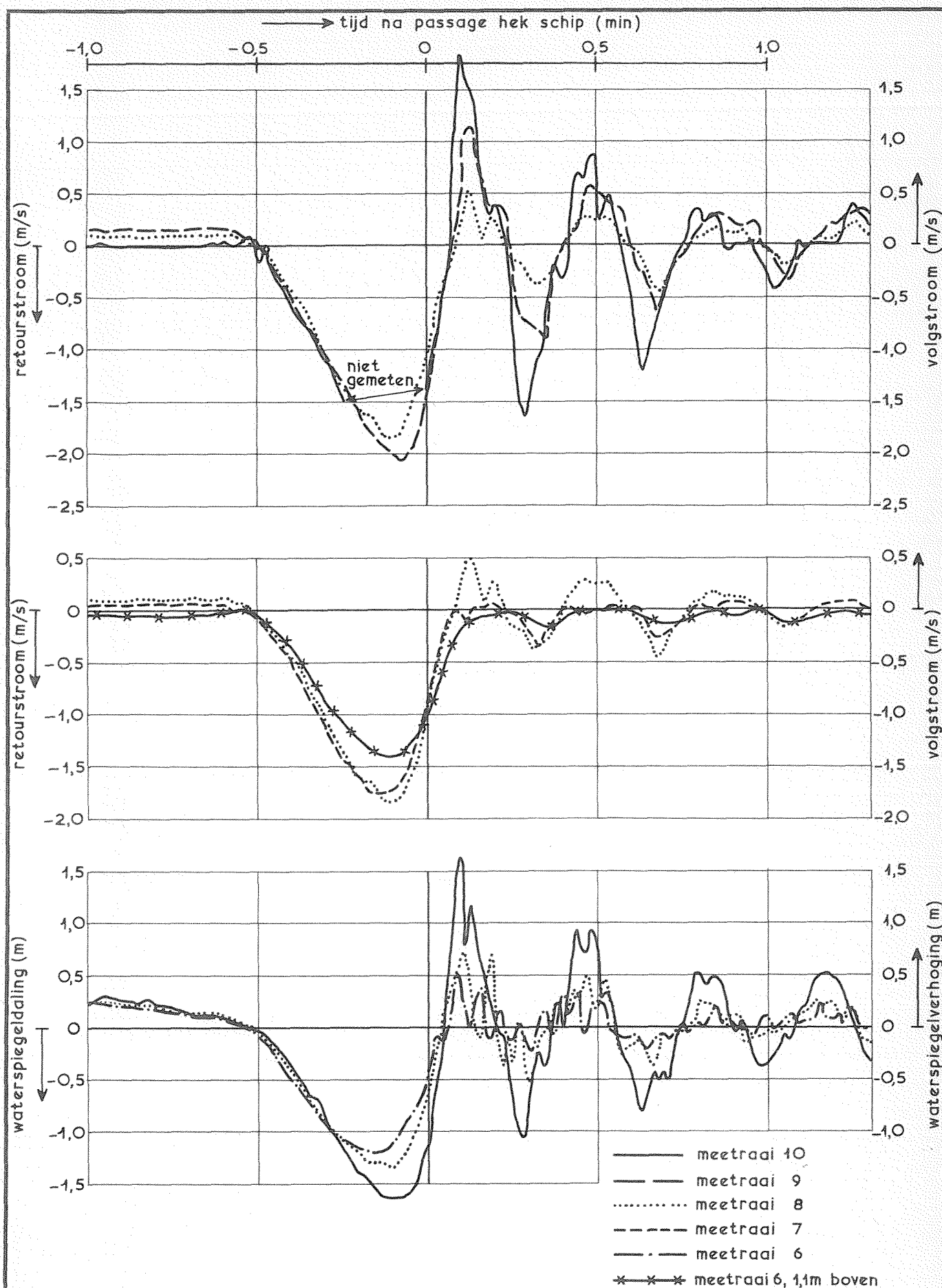
WATERBEWEGING BIJ HET CONTAINERSCHIP
 ($h/T = 1,2$; offset 1 ; $n = 101$ omw/min)



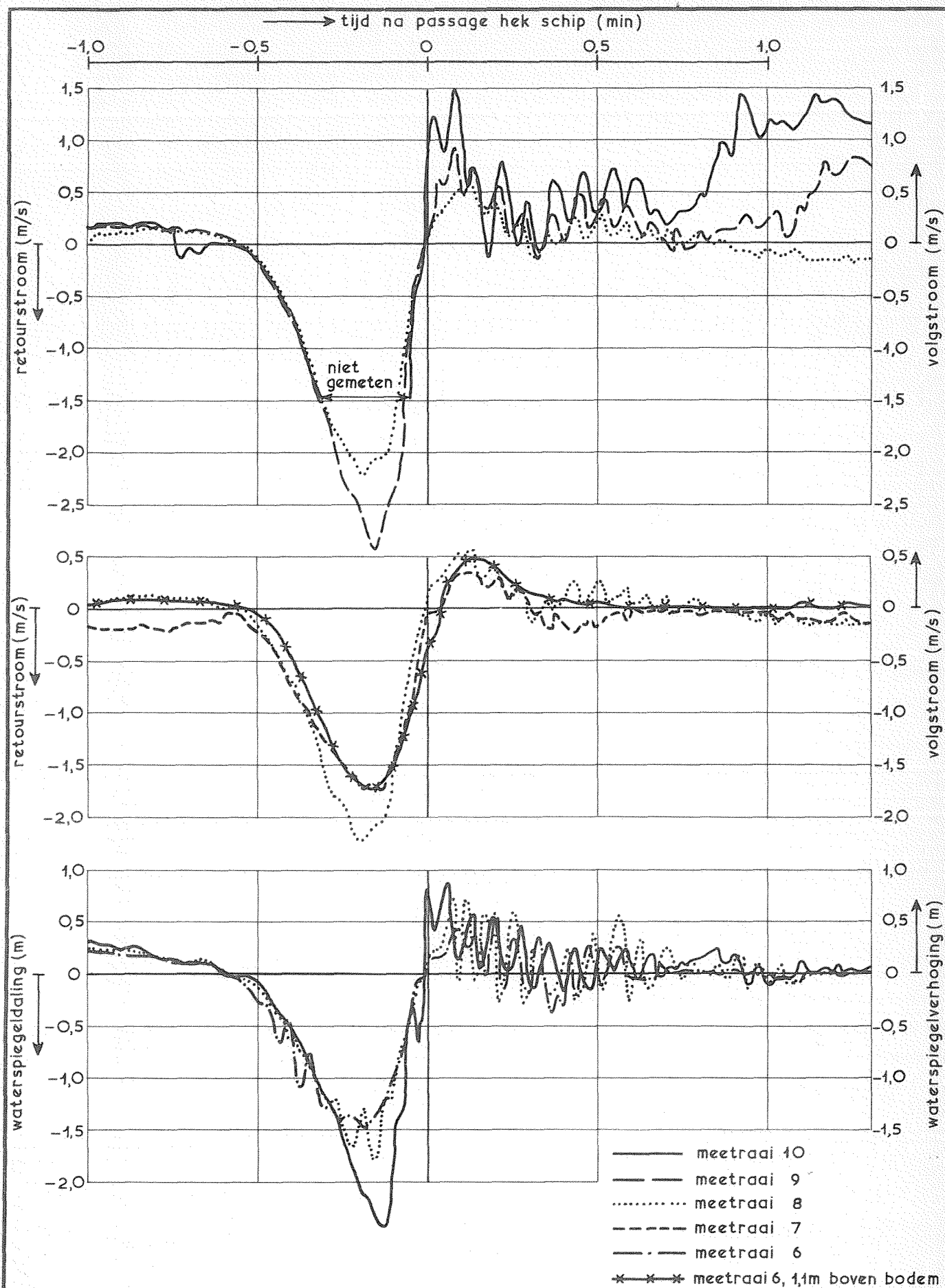
WATERBEWEGING BIJ HET CONTAINERSCHIP
($h/T = 1,2$; offset 2 ; $n = 101$ omw/min)



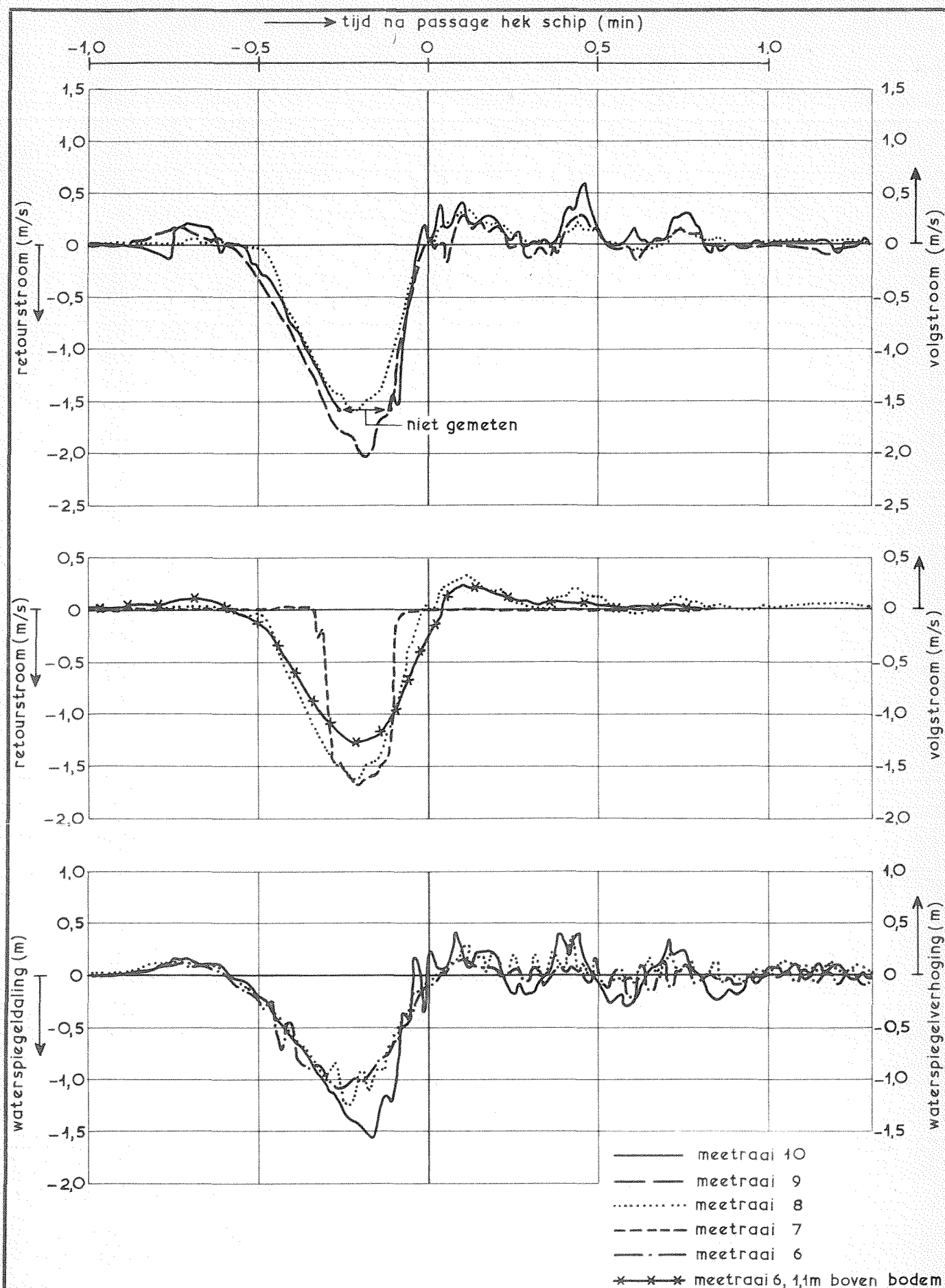
WATERBEWEGING BIJ HET CONTAINERSCHIP
($h/T = 1,2$; offset 3 ; $n = 101$ omw /min)



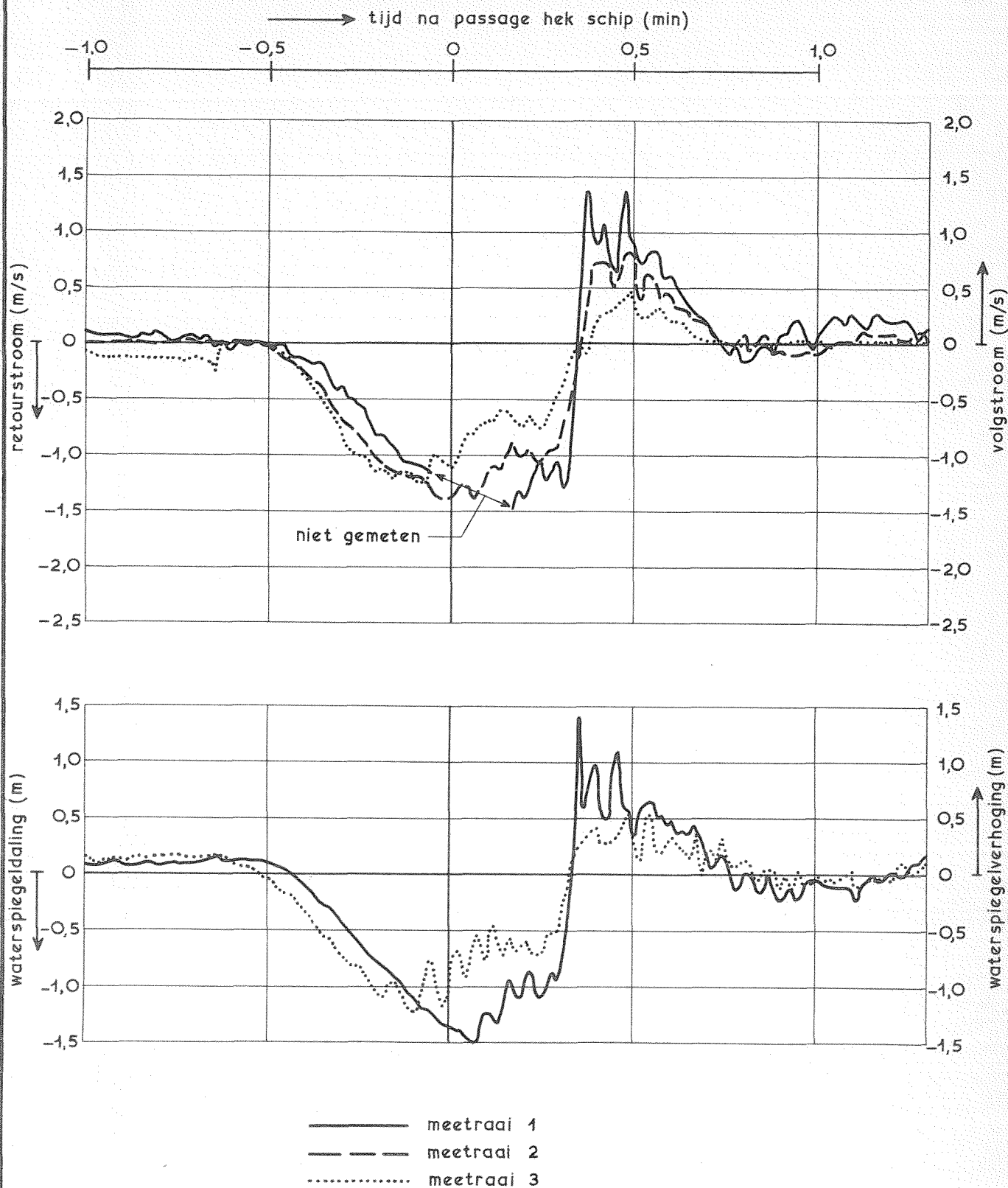
WATERBEWEGING BIJ HET CONTAINERSCHIP
 ($h/T = 1,2$; offset 4 ; $n = 101$ omw /min)



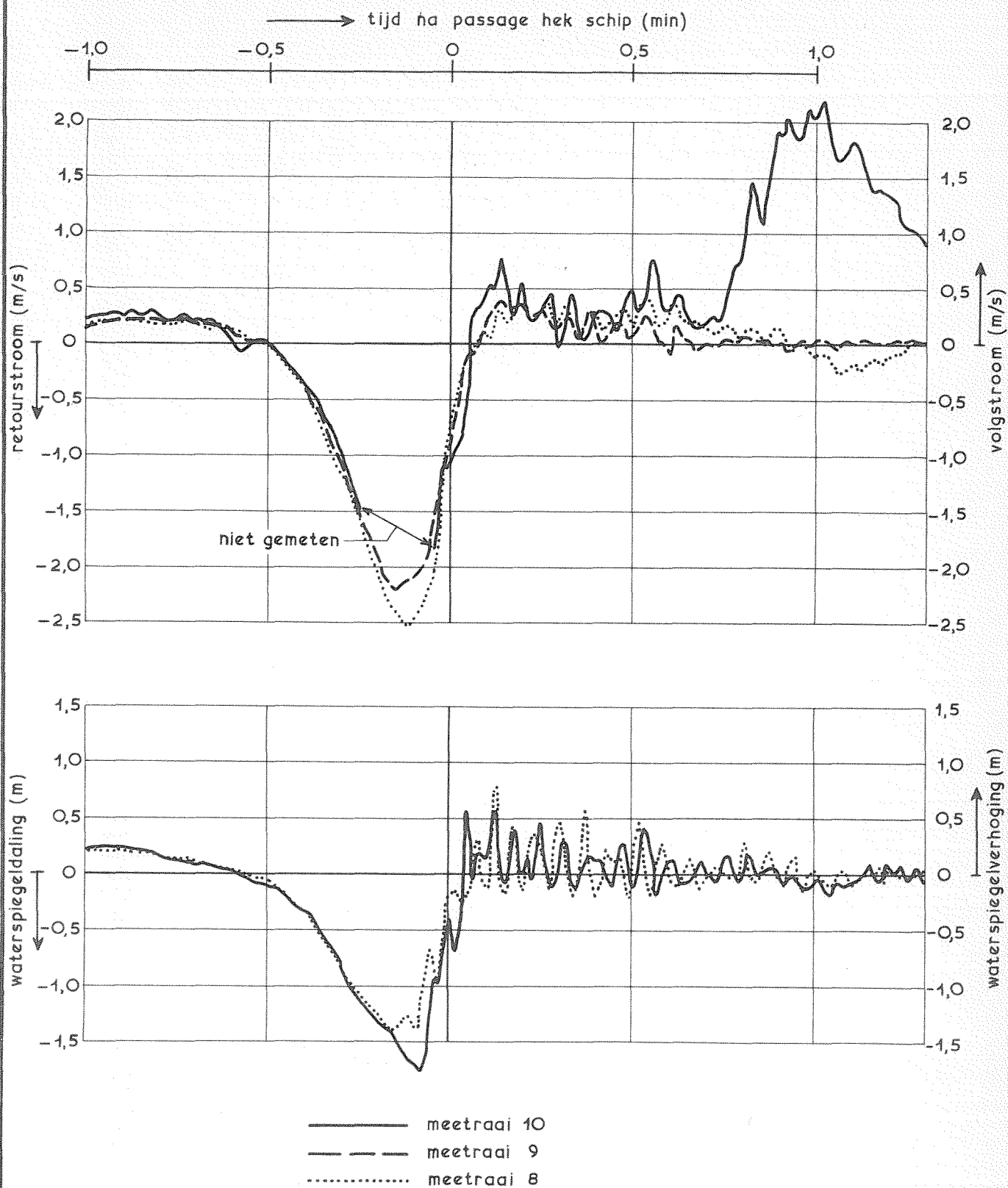
WATERBEWEGING BIJ HET CONTAINERSCHIP
 ($h/T = 1,2$; offset 5 ; $n = 101$ omw /min)



WATERBEWEGING BIJ HET CONTAINERSCHIP
 ($h/T = 1,2$; offset 5; $n = 81$ omw/min)

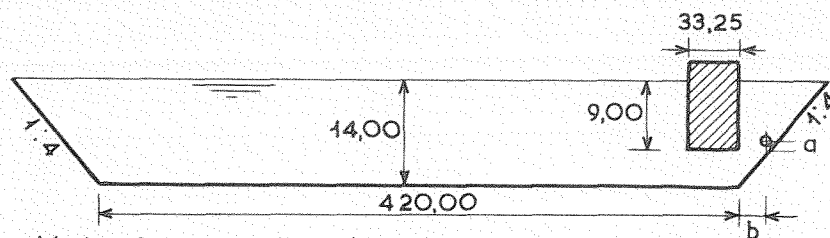


WATERBEWEGING BIJ HET CONTAINERSCHIP
 ($h/T = 1,1$; offset 1 ; $n = 101$ omw /min)



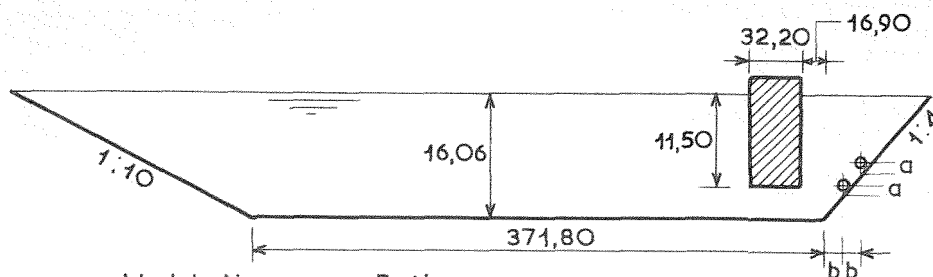
WATERBEWEGING BIJ HET CONTAINERSCHIP
 ($h/T = 1,1$; offset 5 ; $n = 101$ omw /min)

DWARSDOORSNEDEN



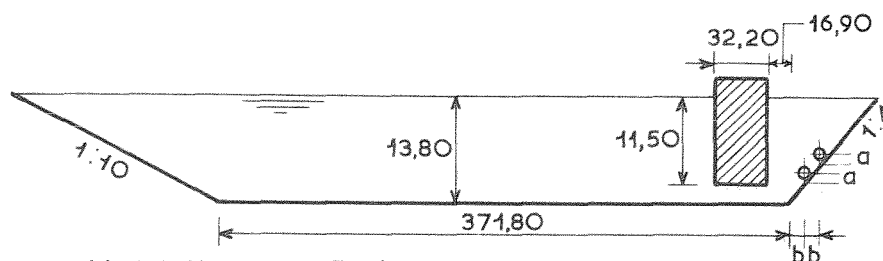
$a = 1,40$
 $b = 17,50$

Model Schelde-Rijnverbinding; $n_L = 87,5$
RHK-schip type „Johann Welker“; waterstand „N.A.P. - 2 m“



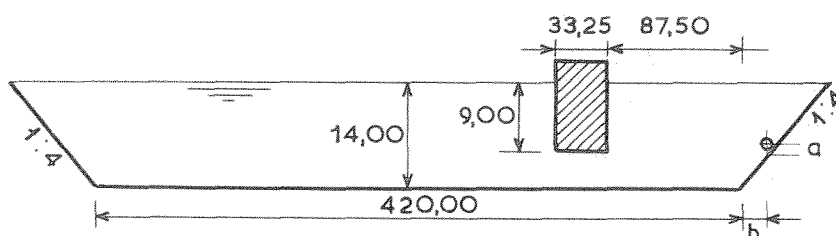
$a = 1,10$
 $b = 12,75$

Model Nauw van Bath; $n_L = 55$
Containerschip; $h/T = 1,4$, offset 5, meetraaien 7 en 8



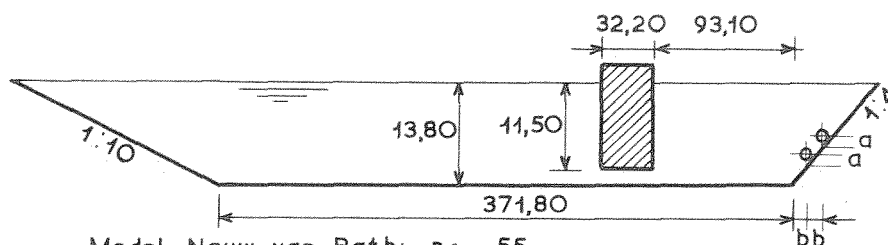
$a = 1,10$
 $b = 10,50$

Model Nauw van Bath; $n_L = 55$
Containerschip; $h/T = 1,2$, offset 5, meetraaien 7 en 8



$a = 1,40$
 $b = 17,50$

Model Schelde-Rijnverbinding; $n_L = 87,50$
RHK-schip type „Johann Welker“; waterstand „N.A.P.“



$a = 1,10$
 $b = 10,50$

Model Nauw van Bath; $n_L = 55$
Containerschip; $h/T = 1,2$, offset 4, meetraaien 7 en 8

maten in m prototype

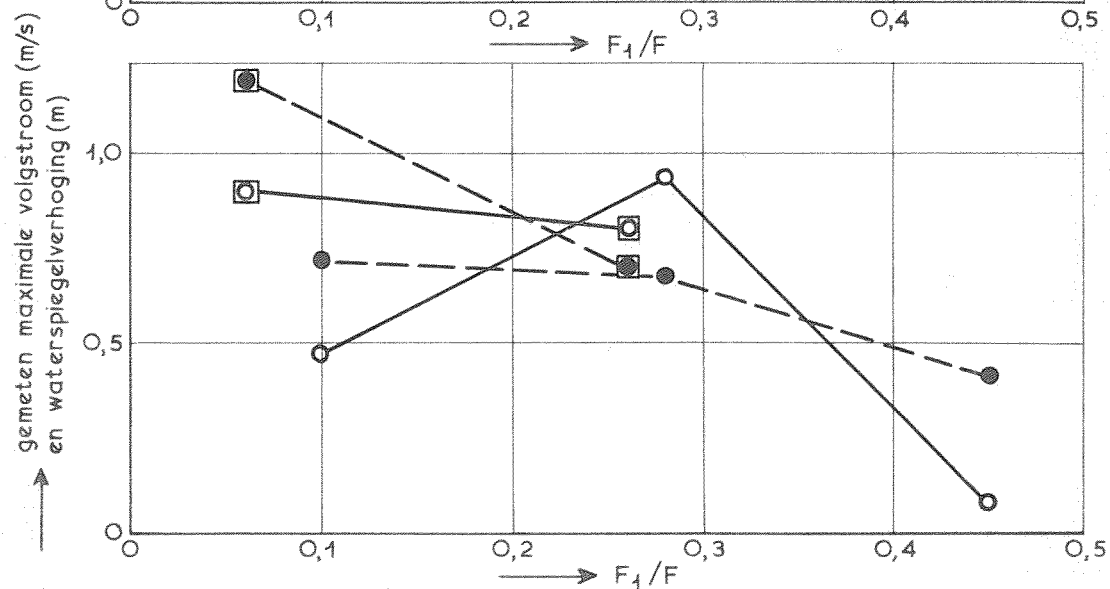
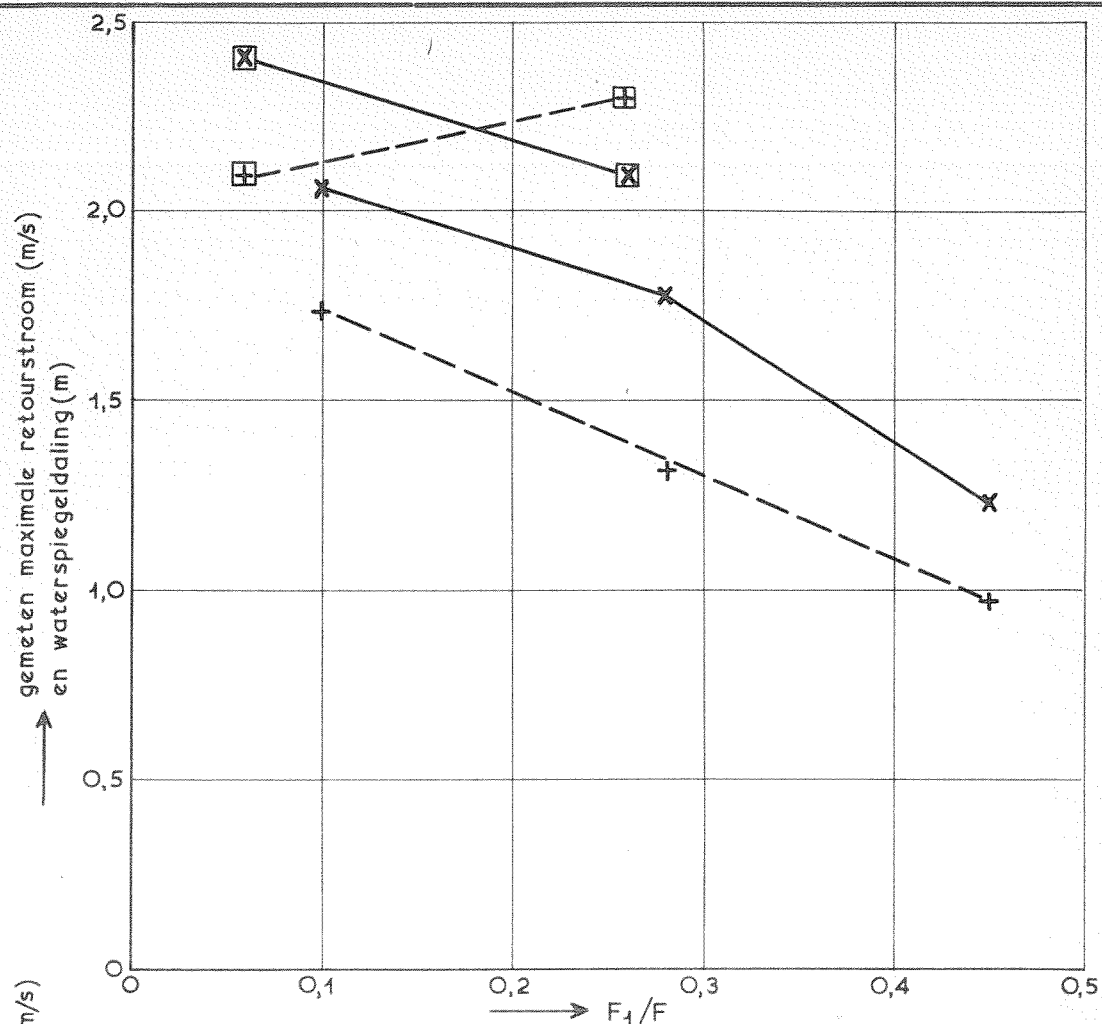
AFMETINGEN VAN DWARSPROFIELN EN MEETOP-
STELLINGEN IN DE MODELLEN VAN DE SCHELDE-
RIJNVERBINDING EN HET NAUW VAN BATH

SCHAAL HOR.: 1:5000
VERT.: 1:1000

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

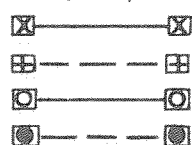
R. 840

FIG. 32



R.H.K.-schip,
Schelde-Rijnv.
(W.L.)

containerschip;
Nauw v. Bath
(N.S.P.)



- retourstroom boven het talud, 17,5 m uit de teenlijn
- waterspiegeldaling boven het talud, 17,5 m uit de teenlijn
- volgstroom boven het talud, 17,5 m uit de teenlijn
- waterspiegelverhoging boven het talud, 17,5 m uit de teenlijn

Voor het Nauw van Bath zijn deze waarden gevonden door rechtlijnige interpolatie tussen meetraai 7 en 8, resp. 6 en 8

INVLOED VAN DE PLAATS VAN HET SCHIP OP
DE MEETRESULTATEN IN HET MODEL VAN
DE SCHELDE-RIJNVERBINDING ("N.A.P.-2 m") EN
DAT VAN HET NAUW VAN BATH ($h/T=1,2$)

BIJLAGE


Nederlandsch Scheepsbouwkundig Proefstation

HAAGSTEEG 2 - POSTBUS 28 - WAGENINGEN - TELEFOON (08370) 4481

DATUM: 1-11-1973

ONZE REF.: O/72-0023 GBT

UW SCHR.

UW REF.:

Laboratorium De Voorst

Repelweg 10

Marknesse N.O.P.

T.a.v. Ir. E.J. van de Kaa

adres: Modeltank - Telex: 45148 - Postgiro 856343 - Bank: Algemene Bank Nederland N.V. Wageningen, Rekening 53.93.39.156

 Onderwerp: Resultaten van proeven van de bochtafsnijding
bij Bath.

Onze referentie: O/72-0023 GBT - Model nrs. 3978/3699²

Mijne heren,

Hierbij zenden wij u de uitbreiding van de meetresultaten van watersnelheden en golfhoogten zoals overeengekomen op de vergadering van 10 oktober 1973 bij de Deltadienst. Vergeleken met de resultaten zoals gegeven in rapport no. 72-0023-2-GBT zijn de volgende wijzigingen aangebracht:

1. De sampletijd is nu 0,125 sec, d.w.z. het tijdsinterval tussen twee regels bedraagt voor het prototype $0,125 \times \sqrt{55} = 0,927$ sec.
2. De waarden van de golfhoogten zijn vermeld in meters.
3. Voor zowel de golfhoogte- als watersnelheidsregistraties is gecorrigeerd voor nulverschuivingen.

De meetresultaten zijn gegeven vanaf hetzelfde tijdstip als in het bovengenoemde rapport, zodat het moment van doorkomen van de puls en van de tekenomslag bij de micro-molens niet verandert.

Het geschatte vermogen, ontwikkeld tijdens de proeven is voor het prototype gegeven in onderstaande tabel.

	Vermogen bij	
	$N_{\max}$	$0.8 N_{\max}$
Tanker	30.000 pk	15.000 pk
Containerschip	60.000 pk	30.000 pk

Deze waarden gelden voor de vaart in het midden van het kanaal, bij een waterdiepte-diepgang verhouding van 1,2.

Hoogachtend,

NEDERLANDSCH SCHEEPSBOUWKUNDIG PROEFSTATION

Dr. Ir. J.P. Hooft
Onderdirecteur

GVO/JGR/HS

waterloopkundig laboratorium postbus 177 delft