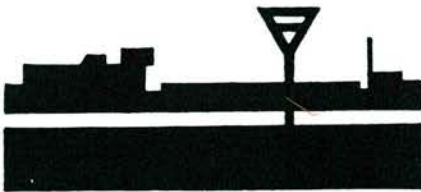


HINDERLIJKE WATERBEWEGING
IN DE HAVEN VAN WALSOORDEN
t.g.v. PASSERENDE SCHEPEN

S 87.117



DI 43021

2801

Stichting Verkeerskunde
Verkeerswetenschap

27620300 galactosylated

2801

1992

27620300 galactosylated

27600000 galactosylated

FIGUREN

- Figuur 1: Overzicht van de haven van Walsoorden.
- Figuur 2: Getijbeweging nabij de haven van Walsoorden.
- Figuur 3: Overzicht lokatie gerapporteerde ongevallen.
- Figuur 4: Haven van Walsoorden. Schematisatie t.b.v. Implic.
- Figuur 5: Benadering doordringing waterbeweging in de haven van Walsoorden m.b.v. het "Implic" computerprogramma - gemiddeld laag water.
- Figuur 6: Benadering doordringing waterbeweging in de haven van Walsoorden m.b.v. het "Implic" computerprogramma - gemiddeld water.
- Figuur 7: Benadering doordringing waterbeweging in de haven van Walsoorden m.b.v. het "Implic" computerprogramma - gemiddeld hoog water.
- Figuur 8: Meetopstelling haven Walsoorden.
- Figuur 9: Frekwentieverdeling vaarsnelheden zeeschepen. Opvaart en afvaart, november 1987.
- Figuur 10: Frekwentieverdeling vaarsnelheden zeeschepen. Geladen en ongeladen, november 1987.
- Figuur 11: Frekwentieverdeling vaarsnelheden zeeschepen. Opvaart en afvaart, februari 1988.
- Figuur 12: Frekwentieverdeling vaarsnelheden zeeschepen. Geladen en ongeladen, februari 1988.
- Figuur 13: Frekwentieverdeling vaarsnelheden zeeschepen. Opvarend en afvarend, november 1980.
- Figuur 14: Frekwentieverdeling afstanden zeeschepen tot oeverlijn. Opvaart en afvaart.
- Figuur 15: Maximale sekundaire golven in de Diepe haven als functie van grootspantoppervlak, vaarsnelheid en afstand.
- Figuur 16: Vergelijking van gemeten en berekende sekundaire golven in de Diepe haven.
- Figuur 17: Maximale waterspiegeldalingen/rijzingen in de Diepe haven als functie van grootspantoppervlak, vaarsnelheid en afstand.
- Figuur 18: Vergelijking gemeten en berekende waterspiegeldalingen/rijzingen op twee lokaties in de Diepe haven.
- Figuur 19: Maximum verhang over lokatie 1 in de Diepe haven als functie van grootspantoppervlak, vaarsnelheid en afstand.
- Figuur 20: Vergelijking gemeten en berekende verhangen over lokatie 1 in de Diepe haven.

FIGUREN (vervolg)

- Figuur 21: Wijze van afmeren in de Diepe haven.
- Figuur 22: Uit gemeten verhangen afgeleide troskrachten en gemeten krachten als funktie van zeeschipkarakteristieken.
- Figuur 23: Gemeten troskrachten tijdens verhalen en t.g.v. waterbeweging door passerende zeeschepen bij het m.s. Lenie.
- Figuur 24: Gemeten troskrachten tijdens eb bij strakgehouden voortrvoorspring.
- Figuur 25: Schematisatie Westerscheldevaargeul t.p.v. de haven van Walsoorden.
- Figuur 26: Benadering waterbeweging volgens Schijf.
- Figuur 27: Invloed geometrie-veranderingen haven van Walsoorden - gemeten water.
- Figuur 28: Invloed geometrie-veranderingen haven van Walsoorden - gemeten water.
- Figuur 29: Invloed geometrie-veranderingen haven van Walsoorden - gemeten water.
- Figuur 30: Componenten van de scheepsgeïnduceerde waterbeweging.

SAMENVATTING EN KONKLUSIES

Samenvatting

De haven van Walsoorden is gelegen in de Westerschelde, opvarend in de rechteroever, direkt na de veerverbinding Perkpolder-Kruiningen. De geografische ligging is ca. $51^{\circ}23'N$ en $4^{\circ}02,2'E$. De haven bevat twee delen (fig. 1):

1. een Tijhaven : voornamelijk voor pleziervaart; afmetingen ca. 200×70 (m^2) (valt bij laag water droog!);
2. een Diepe haven: voornamelijk voor beroepsvaart; afmetingen ca. 120×80 (m^2).

In de haven heeft men de afgelopen jaren regelmatig hinder ondervonden ten gevolge van een heftige waterbeweging (waterspiegelvariaties, sekundaire golven en stromingen) tijdens en na het passeren van zeeschepen. Deze waterbeweging veroorzaakt enerzijds hinder bij het laden en lossen van schepen, anderzijds leidt deze waterbeweging soms tot breuk van trossen bij afge-meerde schepen. Dit laatste kan leiden tot (grote) schade aan schip en/of kade.

In hoorzittingen aangaande een eventuele verdieping van drempels in de Westerscheldevaargeul, is door de gemeente Montenisje gemeld dat men zich ernstig zorgen maakt over de evt. toename van de hinder door een dergelijke verdieping. Het is daarom dat de direktie Zeeland de dienst Verkeerskunde opdracht heeft verleend om onderzoek uit te voeren naar de zuigingshinder in de haven van Walsoorden ten gevolge van passerende zeeschepen. Dit onderzoek betreft de volgende aspecten:

- (i) Een aantal metingen naar het vaargedrag van passerende zeeschepen op de Westerschelde (afstand tot de haven, vaarsnelheid, aktuele diepgang, beladingstoestand, vaarrichting en eventuele bijzonderheden).
- (ii) Het meten van de waterbeweging (golfhoogte en stroomsnelheid) op maatgevende lokaties in de haven ten gevolge van passerende zeeschepen.
- (iii) Het afschatten van de omvang van de zuigingshinder in de haven na een eventuele verdieping van drempels in de Westerschelde.
- (iv) Het aangeven van mogelijke maatregelen ter beperking van deze hinder.

Konklusies

- Het tijdens de meting in november 1987 waargenomen vaargedrag (richting, vaarsnelheid, beladingsgraad, drifthoek en afstand tot oeverlijn) is representatief voor de aktuele situatie op de Westerschelde t.p.v. Walsoorden.
- De verdeling van de beladingstoestand over de vaarrichting, tijdens de meetperiode bij de passerende scheepvaart is waargenomen als volgt:

	<u>opvaart</u>	<u>afvaart</u>	<u>totaal</u>
<u>geladen</u> :	38%	26%	64%
<u>ongeladen</u> :	25%	11%	36%
<u>Totaal</u> :	63%	37%	100%

Uit het bovenstaande volgt dat de uit het vooronderzoek naar voren gekomen meest hinder veroorzakende categorie zeeschepen, nl. de opvaart, 38% uitmaakt van het totaal aantal waargenomen zeeschepen. Deze categorie heeft dit onderzoek dan ook betrekking gehad.

- De verdeling van de gemiddeld waargenomen vaarsnelheden t.o.v. het aardvast assenstelsel over de beladingstoestand en vaarrichting volgt:

opvaart : 6,2 m/s

afvaart : 5,2 m/s

geladen : 5,6 m/s

ongeladen: 5,7 m/s

Het grootste deel van de vaart vindt tijdens vloed plaats (tussen GHW en GHW). Om vaarsnelheden t.o.v. het water te verkrijgen, die hierboven genoemde vaarsnelheden met maximaal +/- 1,5 (m/s) gecorrigeerd te worden.

- De gemiddelde afstand tot de oeverlijn bedraagt in opvaart 298 m, in afvaart 433 m.
- Uit de meting is gebleken dat de in de Diepe haven optredende mingen door vullen c.q. ledigen van de haven tijdens en na scheeps passages klein zijn. De maximale stroomsnelheid die gemeten is bedraagt 0,36 m/s. In de meeste gevallen blijft de gemeten stroomsnelheid $\pm$ 0,05 m/s. De maximale gemeten secundaire golven zijn klein. De maximale waterspiegelrijzingen/dalingen t.g.v. de passages bedragen 0,35 m. Het grootste gemeten verhang is $27,5 \cdot 10^{-4}$.

- De tijdens passages van zeeschepen bij afgemeerde binnenschepen gemeten troskrachten zijn klein (tussen de 0 en 4,5 KN). Tijdens verhalen en gedurende een deel van de getijbeweging zijn bij de afgemeerde binnenschepen resp. 25 à 50 en 5,0 maal zo grote troskrachten gemeten als gemeten tijdens de passages van zeeschepen.
- De binnenschepen die onder voorspanning afmeren met het juiste aantal trossen van voldoende lengte ondervinden over het algemeen de minste hinder van de door passerende zeeschepen veroorzaakte waterbewegingen en hebben de meest stabiele ligging.
- Er mag worden verwacht dat de door passerende zeeschepen veroorzaakte waterbeweging in de haven van Walsoorden na verdieping van drempels in de Westerschelde met maximaal 10% zal toenemen.
Theoretisch is het dan mogelijk dat t.g.v. passages van grote geladen zeeschepen sekundaire golven van 0,35 m, waterspiegeldalingen/stijgingen van 0,40 m en verhangen over de Diepe haven van $30,0 \cdot 10^{-4}$ optreden.
- Een sterke reductie van de **ondervonden** hinder van de waterbeweging kan worden bereikt door afmeerlokatie en afmeerregime te wijzigen. De meeste winst kan hierbij worden bereikt door de frekwent bezoekende binnenschepen te laten afmeren aan een vertikaal vrij bewegende afmeer gelegenheid op de kopse kant van de haven i.p.v. op lokatie 1. Het verdient hierbij voorkeur 4 trossen te gebruiken en onder voorspanning af te meren met trossen van voldoende lengte en kwaliteit. Hiertoe dient de kopse kant van de Diepe haven verbreed te worden.
- Een reductie van de **ondervonden** hinder van de waterbeweging kan ook bereikt worden door de huidige afmeerlokaties in de Diepe haven onveranderd te laten en alleen het afmeerregime te wijzigen. Hiertoe zouden op lokatie 1 in de Diepe haven minimaal een viertal trosvoorspanapparaten moeten worden opgesteld, met daarbij een viertal trossen. Afmerende binnenschepen zouden verplicht gesteld moeten worden met deze 4 trossen (voortros, voorspring, achtertros, achterspring) aan deze apparaten onder voorspanning af te meren. Bij voorkeur zouden poly-propyleen of poly-ethyleen trossen $\varnothing$ 100 mm van minimaal 20 à 30 meter lengte en goede kwaliteit moeten worden gebruikt. Op deze wijze neemt de kans op ongevallen door heftige waterbeweging t.g.v. passerende zeeschepen sterk af en wordt de ligging van de afgemeerde binnenschepen stabiel.

Het gestelde achter de voorgaande twee aandachtsstreepjes moet gezien als aanbevelingen om de kans op het ondervinden van hinder door wat erging tijdens passages van zeeschepen zo klein mogelijk te maken. Uit tingen is nl. niet gebleken dat passerende zeeschepen in de haven veroorzaken extreme hinder veroorzaken.

1. INLEIDING

1.1 Algemeen

De haven van Walsoorden is gelegen in de Westerschelde, opvarend in de rechteroever, direkt na de veerverbinding Perkpolder-Kruiningen. De geografische ligging is ca. $51^{\circ}23'N$ en $4^{\circ}02,2'E$. De haven bevat twee delen (fig. 1):

1. een Tijhaven : voornamelijk voor pleziervaart; afmetingen ca. $200 \times 70 \text{ (m}^2\text{)}$ (valt bij laag water droog!);
2. een Diepe haven: voornamelijk voor beroepsvaart; afmetingen ca. $120 \times 80 \text{ (m}^2\text{)}$.

In de Tijhaven is behalve voor afmeren t.b.v. pleziervaart ook ruimte gereserveerd t.b.v. een kleine werf. Hier kunnen binnenschepen worden drooggezet.

In de Diepe haven is één kade (bij invaren aan bakboord) "gereserveerd" t.b.v. lossen van graancoasters en één kade (bij invaren aan stuurboord) voor het lossen van grind-/zandschepen (binnenvaart) t.b.v. de betonfabriek naast de haven. Aan de kop-kade (bij invaren recht vooruit) van de haven liggen regelmatig enkele vissersschepen afgemeerd.

Aangezien de Westerschelde een open verbinding heeft met de Noordzee, treedt in de haven van Walsoorden een aanzienlijke getijbeweging op. Globaal kunnen de volgende waarden worden aangehouden:

G.H.W. 2,25 +NAP (G.H.H.W.S.: 2,80 +NAP)

G.L.W. 2,25 -NAP (G.L.L.W.S.: 2,60 -NAP) (zie fig. 2)

Tevens dient jaarlijks met $\pm 1,00 \text{ (m)}$ aanslibbing rekening te worden gehouden. Gezien het grote waterstandsverschil t.g.v. de getijbeweging en de zuigingshinder door passerende zeevaart, wordt de haven van Walsoorden door schippers als "lastig" omschreven.

1.2 Probleemstelling

In de haven van Walsoorden heeft men de afgelopen jaren regelmatig hinder ondervonden ten gevolge van een heftige waterbeweging (waterspiegelvariaties, sekundaire golven en stromingen) tijdens en na het passeren van zeeschepen. Deze waterbeweging veroorzaakt enerzijds hinder bij het laden en lossen van schepen, anderzijds leidt deze waterbeweging soms tot breuk van trossen bij afgemeerde schepen. Dit laatste kan leiden tot (grote) schade aan schip en/of kade.

In hoorzittingen aangaande een eventuele verdieping van drempel Westerscheldevaargeul, is door de gemeente Hontenisse gemeld dat men ernstig zorgen maakt over de toename van de hinder door een dergelijke verdieping. Het is daarom dat de directie Zeeland de dienst Verkeersku dracht heeft verleend om onderzoek uit te voeren naar de zuigingshinder in de haven van Walsoorden ten gevolge van passerende zeeschepen. Dit onderzoek zou tenminste de volgende aspecten moeten bevatten:

- (i) Het verrichten van metingen naar het vaargedrag van passerende schepen op de Westerschelde (afstand tot de haven, vaarsnelheid, eventuele diepgang, beladingstoestand, vaarrichting en eventuele afmetingen).
- (ii) Het meten van de waterbeweging (golfhoogte en stroomsnelheid) op verschillende locaties in de haven ten gevolge van passerende zeeschepen.
- (iii) Het afschatten van de omvang van de zuigingshinder in de haven ten gevolge van de eventuele verdieping van de Westerschelde.
- (iv) Het aangeven van mogelijke maatregelen ter beperking van deze hinder.

De punten (i) en (ii) vallen binnen het kader van de praktijkmetingen, de punten (iii) en (iv) binnen het kader van een (o.a. op basis van de metingen te verrichten) bureau-studie. Aan de eerste twee punten is een onderzoek voorafgegaan.

T.b.v. het onder (i) en (ii) genoemde is derhalve besloten om van 6 november 1987 een meting te verrichten naar de waterbeweging in de haven van Walsoorden t.g.v. passerende zeeschepen. Als uitloop voor deze periode was de week van 9 t/m 13 november beschikbaar.

1.3 Vooronderzoek

De in de vorige paragraaf geschetste meetperiode in begin november is voorafgegaan door een vooronderzoek. Dit vooronderzoek had tot doel duidelijkheid te krijgen in de actuele situatie in de haven. Het heeft de volgende onderdelen bevat:

- (i) Een persoonlijke verkenning van de haven van Walsoorden, inclusief gesprekken met de havenmeester.
- (ii) Een ongevallenanalyse van alle geregistreerde en gerapporteerde aanvaringen in de haven, veroorzaakt door zuiging t.g.v. passerende schepen.

- (iii) Een beperkt literatuuronderzoek naar terzake doende en nuttige informatie bevattende literatuur over de scheepvaart in de Westerschelde alsook over onderzoeken naar zuigingshinder in voorhavens (zie [1], [2], [3], [4] en [5]).
- (iv) Het doorrekenen van de haven m.b.v. het ééndimensionale langegolfprogramma Implic. Met dit programma is het mogelijk de voortplanting in de tijd en ruimte van een aan de rand opgelegde verstoring in een bepaalde haven/rivier-geometrie te volgen ([6]).

ad (i)

De verkenning van de haven van Walsoorden heeft een duidelijk beeld opgeleverd van de huidige situatie in de haven, v.w.b. de geometrie, de getijbeweging alsook globaal van de waterstandsvariaties, veroorzaakt door passerende zeeschepen. Gemiddeld dient men met een waterstandsvariatie van 4,50 à 5,00 m door het getij rekening te houden en met waterstandsvariaties ("op 't oog") van orde-grootte 25 à 30 centimeter.

ad (ii)

Uit een ongevalsanalyse van het (beperkt) aantal ongevallen in de haven van Walsoorden, veroorzaakt door zuiging van passerende zeeschepen, is het volgende naar voren gekomen (bron: scheepsongevallenbestand van de dienst Verkeerskunde te Dordrecht):

- sinds 1978 zijn er in totaal 6 ongevallen in de haven gerapporteerd en geregistreerd, veroorzaakt door zuiging van passerende zeeschepen. Aannemende dat dit ook het werkelijke aantal voorkomende ongevallen zou zijn, komt dit neer op gemiddeld 1,0 ongeval per twee jaar;
- alle gerapporteerde en geregistreerde ongevallen zijn veroorzaakt door zeeschepen met een diepgang groter dan of gelijk aan 6,70 m;
- de meeste ongevallen zijn veroorzaakt door opvarende geladen zeevaart. In deze situatie is de haveningang gelegen aan stuurboordzijde van de passerende zeevaart.
- ter plaatse van de havenmond ligt de rode vaargeulbetonning ± 100 m uit de oever;
- alle ongevallen hebben betrekking op trosbreuk;
- de meeste ongevallen vinden plaats tijdens het weer "vollopen" van de haven;

- de ongevallen vonden vooral plaats 1 à 3 uren vóór H.W. (vloed) 2 uren vóór L.W. (eb). Hieruit is dus geen duidelijke hinde getijfase aan te geven. De gedachten van de R.P. te Water en de meester hierover zijn dat veel bijna ongevallen en niet-gerapporteerd en geregistreerde ongevallen vlak vóór L.W. (eb) voorvallen;
- alle ongevallen vonden plaats op dezelfde lokatie (zie figuur 3)gens de havenmeester is dit de plek waar schepen het meest last van de hinderlijke waterbeweging.

ad (iii)

Uit het beperkte literatuuronderzoek zijn gegevens naar voren gekomen omtrent het verschijnsel golfdoordringing in voorhavens ([1]), waterbeopgewekt door een zeeschip op "onbeperkt" water in model ([2]), regle op de Westerschelde ([3]), alsook omtrent (zee)scheepvaartintensiteit de Westerschelde ([4]). De overige in de literatuurlijst genoemde literatuur is gebruikt ter informatie en is nuttig onderhavige problematiek meer zichtelijk te maken. In dat verband is genoemde literatuur dan ook nomen.

ad (iv)

M.b.v. het ééndimensionale langegolfdoordringingsprogramma ([6]) is de aktuele havengeometrie doorgerekend voor de waterbeweging deze bij een **containerschip** in een model van het Nauw van Bath is gegeven ([2]). Uitgaande van deze waterbeweging, geschematiseerd tot een trapez verloopende frontgolf, waterspiegeldaling en haalgolf (de z.g. pri lange golf, zie figuur 30), is de voortplanting van deze lange golf Tjshaven en de Diepe haven berekend. Hiertoe is de haven geschematiseerd in figuur 4 is aangegeven. Het programma berekent in ieder knoopp golfhoogtes en stroming in één richting alsook het optredende verhan twee (naastliggende) knooppunten. E.e.a. wordt op tijdbasis gepresenteerd waarbij meetresultaten per knooppunt kunnen worden weergegeven. De van het signaal heeft in knooppunt 2 plaatsgevonden.

De getijbeweging is benaderd door de havengeometrie voor drie waters door te rekenen, nl. voor gemiddeld laag water (G.L.W.), gemiddeld water (G.H.W.) en voor de waterstand daar tussenin.

In figuur 5, 6 en 7 staan de waterstandsvariatiën gegeven in de punten 4 (begin Tjshaven), 6 (begin Diepe haven) en 8 (eind Diepe

t.g.v. een in knooppunt 2 (Westerschelde) opgelegde waterbeweging door een opvarend containerschip. Uit deze figuur blijkt het belang ("de gevoeligheid van") de knooppunten 6 en 8. Tevens blijkt uit deze figuur dat stroomsnelheden aan het begin van de Diepe haven groot zijn en richting het eind van de haven afnemen tot vrijwel nul en de waterstandsvariaties van het begin van de Diepe haven redelijk groot zijn en naar het eind toe nog toenemen.

Konklusies

Gezien de ervaringen van de havenmeester, gezien de gerapporteerde en geregistreerde ongevallen en gezien de resultaten van het onderzoek m.b.v. Implic naar de voortplanting van lange golven in de haven van Walsoorden, verdient het de voorkeur om aan het begin van lokatie 1 uit figuur 3 waterstandsvariaties en stroomsnelheden in langsrichting in de Diepe haven alsmede loodrecht daarop te meten en aan het eind van lokatie 1 uit figuur 3 alleen waterstandsvariaties (stroomsnelheden zullen hier nl. minimaal zijn).

1.4 De meting

Naar aanleiding van het vooronderzoek is gekozen voor een tweedelige meting in/rond de haven van Walsoorden:

- (i) Een **vaargedragmeting** van passerende zeeschepen op de Westerschelde, waarbij de nadruk dient te komen te liggen op geladen opvarende zeeschepen met een diepgang groter dan of gelijk aan 6,70 m.

Tijdens deze meting zullen vaarsnelheid t.o.v. een aardvast assenstelsel, vaarrichting, de afstand tot de oeverlijn en evt. de drifthoek bepaald worden in een tweetal raaien (zie figuur 8). Raai A is een raai vlak bij de havenmond, raai B een raai ongeveer 440 meter stroom afwaarts.

Tijdens deze meting zullen tevens zoveel mogelijk scheepskarakteristieken worden vastgelegd, zoals lengte, breedte, diepgang, beladingsgraad, type schip, laadvermogen, e.d.

- (ii) een **waterbewegingsmeting** in de haven van Walsoorden op de lokaties zoals aangegeven in figuur 8. Voor deze twee lokaties is gekozen n.a.v. de uitkomsten van het vooronderzoek.

Een optie is het meten van troskrachten bij de tijdens het meten op lokatie 1 (fig. 3) afgemeerde schepen. Het meten van troskrachten is echter géén doelstelling van deze meting.

1.5 Gegevensverwerking en indeling notitie

De ruwe meetgegevens bestaan uit drie soorten:

- (i) Een tape met daarop de gedigitaliseerde vaargedragswaarnemingen.
- (ii) Een tape met daarop de gemeten waterbeweging op beide lokaties Diepe Haven.
- (iii) Enkele rollen met troskrachtmeetgegevens.

Het bestand met de vaargedraggegevens is als volgt verwerkt. eerste plaats is gekeken naar de vaarsnelheden van de op/afvarende schepen. Hierbij zijn de gemeten vaarsnelheden in raai A, raai B en over traject AB vergeleken. Uitschieters qua vaarsnelheid (b.v. raai B hoger A en het traject AB laag) zijn geschrapt (dus in dat geval raai B). Vervolgens is voor de drie vaarsnelheidswaarnemingen het gemiddelde genomen. zijn per scheepspassage de vaarsnelheden vastgesteld. Deze vaarsnelheden zijn vergeleken met een meting uit 1980 ([5]). Tenslotte is als over controle in februari 1988 nog een tweedaagse verdeckte meting naar de snelheden gehouden in één raai loodrecht op de havenmond. Deze gegevens zijn vergeleken met die van de meting in november 1987.

Op de tweede plaats is gekeken naar de afstand tot de oeverlijn passerende zeeschepen. Tevens is onderzocht of er significante verschillen optraden qua afstand in beide raaien.

Op de derde plaats is er gekeken naar de scheepskarakteristieken: diepgang, laadvermogen, beladingsgraad, lengte en breedte en natte doorsnede van het schip ($\sim$ breedte x diepgang x beladingsgraad).

Het bestand met de waterbewegingsdata is als volgt verwerkt. Van de deelbestanden (één deelbestand is de tijdens één scheepspassage gemeten waterbeweging in de haven) zijn plotsjes gemaakt van de waterspiegelverandering aan het eind van de Diepe haven, aan het begin van de Diepe haven en de stroomsnelheden aan het begin van de Diepe haven in langsrichting en dwarsrichting, uitgezet onder elkaar op dezelfde tijdsas. Op deze plots zijn tevens scheepspassages raai A en scheepspassages raai B aangegeven. De hand van deze plots zijn maxima en minima bepaald evenals het optimaal verhang in de waterspiegel.

Tevens zijn globaal troskrachten gemeten. Er is slechts globaal gekeken naar deze troskrachten omdat het aantal gemeten en geregistreerde

krachten beperkt is. Het is echter wel mogelijk aan de hand van de gemeten troskrachten enkele orde-grootte resultaten te presenteren, waarbij het inzicht in troskrachten t.g.v. passages van zeeschepen en troskrachten t.g.v. getijbeweging wordt vergroot. Het is daarom dat ze toch in de beschouwing zijn meegenomen. Er is voor wat betreft de troskrachten gekeken naar maxima in de voortros en de voorspring, gemeten tijdens de passage van zeeschepen, t.g.v. de getij-beweging en gedurende het verhalen van het afgemeerde schip. Deze situaties zijn qua orde-grootte vergeleken.

Tenslotte is onderzocht welke invloed een eventuele verdieping van drempels in de Westerscheldevaargeul zou kunnen hebben op vaargedrag, waterbeweging in de haven t.g.v. passages van zeeschepen en op troskrachten bij afgemeerde schepen en of een andere havengeometrie een positieve invloed zou kunnen uitoefenen op de waterbeweging in de haven tijdens en na de passage van een schip.

De volgende indeling is verder in onderhavige notitie dan ook aangehouden. In hoofdstuk 2 is de vaargedragmeting uitgewerkt, in hoofdstuk 3 de waterbewegingsmeting. In hoofdstuk 4 zijn de gemeten troskrachten beschouwd. In hoofdstuk 5 is bekeken wat de invloed is van een evt. verdieping van de Westerschelde en in hoofdstuk 6 is aangegeven in hoeverre een andere havengeometrie en/of afmeerregime bijdraagt aan een vermindering van de hinder door waterbeweging t.g.v. passerende zeeschepen. Tenslotte worden in hoofdstuk 7 de konklusies en aanbevelingen gegeven. Per hoofdstuk is minimaal de driedeling "inleiding", "eigenlijke analyse" en "konklusies" aangehouden.

2. VAARGEDRAG ZEESCHEPEN

2.1 Inleiding

In dit hoofdstuk zal het waargenomen vaargedrag van de zeeschepen worden bekeken. Onder vaargedrag wordt verstaan de vaarsnelheid, vaarting en de beladingsgraad van het schip, de afstand van het schip tot de oeverlijn en de eventuele drifthoek (verschil tussen afstand boeg en achtersteven tot de oeverlijn) van het schip. Allereerst zullen deze aspecten worden behandeld voor de meetperiode november 1987. Als follow-up is ter controle van de niet-verdekte vaargedragsmeting nog een verdekte vaargedragsmeting gepland van 2 dagen in februari 1988. Dit om na te gaan of een significant verschil in vaargedrag v.w.b. de vaarsnelheid tussen de niet-verdekte en de verdekte meting aan te tonen is. Tenslotte is ook v.w.b. de vaarsnelheid nog een vergelijking gemaakt met een vaargedragsmeting uit 1980 [5].

Waar in dit hoofdstuk vaarsnelheid, afstand of drifthoek wordt genoemd wordt v.w.b. de meetresultaten van de eigenlijke meting in 1987 bedoeld. De gemiddelde waarde van die in raai A, B en over het traject AB (voor toepassing). "Onverklaarbare" uitschieters (b.v. in één raai tot over andere raai en het traject) zijn uitgefilterd.

2.2 Vaarsnelheid, vaarrichting en beladingstoestand

2.2.1 Meting november 1987 (tabel 1)

Voor het vervolg van deze paragraaf is de volgende hoofdindeeling gemaakt:

- (i) opvaart versus afvaart;
- (ii) geladen versus ongeladen vaart.

ad (i): Opvaart versus afvaart

In figuur 9 zijn de frekwentieverdelingen van het aantal zeeschepen tegen waargenomen vaarsnelheid in opvaart en afvaart gegeven. Tevens is gegeven welk percentage van het totale aantal op- c.q. afvarende zeeschepen per getijfase is waargenomen en welke delen van de getijfasen zijn bestreken. Tenslotte zijn gemiddelden en standaardafwijking van de vaarsnelheid en de totaal percentages voor op- en afvaart gegeven.

Vaarsnelheden in op- en afvaart

95% van de waargenomen opvarende zeeschepen blijkt te varen met een gemiddelde snelheid tussen de 3,8 m/s en 8,6 m/s. Het gemiddelde over alle waarnemingen in opvaart is 6,2 m/s, met een standaardafwijking van 1,2 m/s.

95% van de waargenomen afvarende zeeschepen blijkt te varen met een gemiddelde snelheid tussen de 3,0 m/s en de 7,4 m/s. Het gemiddelde over alle waarnemingen in afvaart is 5,2 m/s, met een standaardafwijking van 1,1 m/s. De vaarsnelheden zijn t.o.v. een aardvast assenstelsel.

Van het totaal aantal waargenomen zeeschepen tijdens de waarnemingsperiode voer 63% op en 37% af.

Verdeling over getijfasen

Van het totaal aantal opvarende zeeschepen (63% van het totaal aantal waargenomen zeeschepen) voer 87% tijdens vloed en 13% tijdens eb. Van die 87% voer 41% binnen 3 uur ná laagwater en 46% binnen 3 uur vóór hoogwater. Van de 13% voer 6% binnen 3 uur ná hoogwater en 7% binnen 3 uur vóór laagwater. Hierbij dient te worden opgemerkt dat de waargenomen periode niet de hele getijdencyclus heeft beslagen. De periode 4 uur vóór laagwater tot 1 uur vóór laagwater is niet bemonsterd. Dit betekent dat er een onnauwkeurigheid zit in de genoemde percentages. Aangezien uit de praktijk blijkt dat slechts een zeer klein percentage van het totale aantal zeeschepen dat tijdens één getijdencyclus op- c.q. afvaart dit binnen 3 uur vóór laagwater doet, wordt verder aangenomen dat hierdoor een te verwaarlozen fout gemaakt wordt. Ter verduidelijking is in de figuren m.b.t. vaargedrag wel steeds aangegeven welk deel van de totale getijdencyclus is bemonsterd. Van het totale aantal afvarende schepen (37% van het totaal aantal waargenomen schepen) voer 74% tijdens vloed en 26% tijdens eb. Van die 74% voer 21% binnen 3 uur ná laagwater en 53% binnen 3 uur vóór hoogwater. Van de 26% voer 17% binnen 3 uur ná hoogwater en 9% binnen 3 uur vóór laagwater.

Konklusies

Tijdens de waarnemingsperiode in november 1987 heeft 63% van de zeevaart in op- en 37% in afvaart plaatsgevonden. De gemiddelde vaarsnelheid in opvaart is 6,2 m/s en in afvaart 5,2 m/s. Zowel opvaart als afvaart vindt voor het grootste deel tijdens vloed (periode tussen laagwater en hoogwater)

plaats. Aangezien afvaart tijdens vloed de stroom tegen heeft is de gemiddelde vaarsnelheid lager dan tijdens opvaart met stroom mee.

Om de vaarsnelheden van individuele schepen t.o.v. het water te krijgen, dienen de t.o.v. een aardvast assenstelsel waargenomen vaarsnelheden, afhankelijk van de getijfase, te worden vermeerderd c.q. vermenigvuldigd met de onderstaande waarden:

3 uur vóór HW: gemiddeld 1,5 (m/s)

3 uur ná HW: gemiddeld 1,2 (m/s)

tijdens HW: gemiddeld 0 (m/s)

tijdens LW: gemiddeld 0 (m/s)

ad (ii): Geladen versus ongeladen vaart

In figuur 10 zijn de frekwentieverdelingen van het aantal zeeschepen tegen waargenomen vaarsnelheid per beladingstoestand (geladen en ongeladen) gegeven. Tevens is aangegeven welk percentage van het totale aantal zeeschepen er per getijfase is waargenomen en welke deel van de getijfasen zijn bemonsterd. Tenslotte zijn gemiddelde en standaardafwijkingen van de vaarsnelheden en de totaal-percentages voor geladen en ongeladen vaart gegeven.

Vaarsnelheden voor geladen en ongeladen vaart

95% van de geladen zeeschepen blijkt te varen met een gemiddelde vaarsnelheid tussen 3,2 m/s en 8,0 m/s. Het gemiddelde over alle waarnemingen van geladen zeeschepen is 5,6 m/s, met een standaardafwijking van 1,2 m/s.

95% van de ongeladen zeeschepen blijkt te varen met een gemiddelde vaarsnelheid tussen 3,3 m/s en 8,1 m/s. Het gemiddelde over alle waarnemingen van ongeladen zeeschepen is 5,7 m/s, met een standaardafwijking van 1,2 m/s.

Van het totaal aantal waargenomen zeeschepen was 64% geladen en 36% ongeladen.

Verdeling over getijfasen

Van het totaal aantal geladen zeeschepen (64% van het totaal aantal waargenomen zeeschepen) voer 83% tijdens vloed en 17% tijdens eb. Van de 83% voer 37% binnen 3 uur ná laagwater en 46% binnen 3 uur vóór hoogwater. Van de 17% voer 11% binnen 3 uur ná hoogwater en 6% binnen 3 uur vóór laagwater.

Van het totaal aantal ongeladen zeeschepen (36% van het totaal aantal waargenomen zeeschepen) voer 78% tijdens vloed en 22% tijdens eb. Van die 78% voer 36% binnen 3 uur ná laagwater en 42% binnen 3 uur vóór hoogwater. Van de 22% voer 9% binnen 3 uur ná hoogwater en 13% binnen 3 uur vóór laagwater.

Konklusies

Tijdens de waarnemingsperiode in november 1987 was 64% van de zeeschepen geladen en 36% ongeladen. De gemiddelde vaarsnelheid van de geladen zeeschepen is 5,6 m/s en van de ongeladen zeeschepen 5,7 m/s. Zowel de geladen vaart als de ongeladen vaart vindt voor het grootste deel plaats tijdens vloed. De verdeling van de beladingstoestand over de vaarrichting is als volgt:

	<u>opvaart</u>	<u>afvaart</u>	<u>totaal</u>
geladen:	38%	26%	64%
ongeladen:	25%	11%	36%
totaal:	63%	37%	<u>100%</u>

De voor de hinderlijke waterbeweging meest hinderlijke groep (zoals uit het vooronderzoek naar voren is gekomen), de geladen opvaart, maakt 38% uit van het totaal aantal waargenomen zeeschepen.

2.2.2 Meting februari 1988 (verdekt) (tabel 1)

In februari is als follow-up een 2-daagse verdekte vaargedragmeting gehouden. Het doel van deze meting is vast te stellen of er significante verschillen zijn tussen de niet-verdekte vaargedragmeting in november 1987 (waarvan e.e.a. bekend gemaakt was) en de verdekte vaargedragmeting in februari 1988 (waarvan niemand afwist).

Er is bij deze vaargedragmeting alleen gekeken naar vaarrichting, vaarsnelheden, en beladingsgraad, waargenomen in één raai, loodrecht op de haveningang. Ook hier is onderscheid gemaakt tussen:

- (i) opvaart en afvaart;
- (ii) geladen en ongeladen vaart.

ad (i)

In figuur 11 zijn de frekwentieverdelingen van het aantal zees tegen waargenomen vaarsnelheid in opvaart en afvaart gegeven. Tevens i gegeven welk percentage van het totale aantal op- c.q. afvarende zees er per getijfase zijn waargenomen en welke delen van de getijfasen zi monsterd. Tenslotte zijn gemiddelde en standaardafwijkingen van de vaas heid en de totaalpercentages voor op- en afvaart gegeven.

Vaarsnelheden in op- en afvaart

95% van de waargenomen opvarende zeeschepen blijkt te varen met e middelde snelheid tussen de 3,2 m/s en 8,0 m/s. Het gemiddelde ove waarnemingen is 5,6 m/s, met een standaardafwijking van 1,2 m/s.

95% van de waargenomen afvarende zeeschepen blijkt te varen met e middelde snelheid tussen de 3,5 m/s en 7,5 m/s. Het gemiddelde ove waarnemingen is 5,5 m/s met een standaardafwijking van 1,0 m/s.

Van het totaal aantal waargenomen zeeschepen voer 59% op en 41% :

Verdeling over getijfasen

Van het totaal aantal opvarende zeeschepen (59% van het totaal waargenomen zeeschepen) voer 66% tijdens vloed en 34% tijdens eb. 66% voer 29% binnen 3 uur ná laagwater en 37% binnen 3 uur vóór hoo Van de 34% voeren alle schepen (34%) binnen 3 uur ná hoogwater en 1 schip waargenomen opvarend binnen 3 uur vóór laagwater. Van het tota tal afvarende zeeschepen (41% van het totaal aantal waargenomen zees voer 66% tijdens vloed en 34% tijdens eb. Van die 66% voer 12% binne ná laagwater en 54% binnen 3 uur vóór hoogwater. Van de 36% voer 24% 3 uur ná hoogwater en 12% binnen 3 uur vóór laagwater.

Konklusies

Tijdens de waarnemingsperioden in februari 1988 heeft 58% van vaart in op- en 41% in afvaart plaatsgevonden. De gemiddelde vaarsnel opvaart is 5,6 m/s en in afvaart 5,5 m/s. Zowel opvaart als afvaart voor het grootste deel tijdens vloed plaats.

ad (ii)

In figuur 12 zijn de frekwentieverdelingen van het aantal zeeschepen tegen waargenomen vaarsnelheid per beladingstoestand (geladen en ongeladen) weergegeven. Tevens is aangegeven welk percentage van het totale aantal op- c.q. afvarende zeeschepen er per getijfase is waargenomen en welke delen van de getijstromen zijn bemonsterd. Tenslotte zijn gemiddelde en standaardafwijking van de vaarsnelheid en de totaal percentages voor geladen en ongeladen vaart gegeven.

Vaarsnelheden voor geladen en ongeladen vaart

95% van de geladen zeeschepen vaart met een gemiddelde vaarsnelheid tussen de 3,1 m/s en 7,9 m/s. Het gemiddelde over alle waarnemingen van geladen zeeschepen is 5,5 m/s met een standaardafwijking van 1,2 m/s.

95% van de ongeladen vaart vaart met een gemiddelde snelheid tussen de 3,7 m/s en de 7,7 m/s. Het gemiddelde over alle waarnemingen van ongeladen zeeschepen is 5,7 m/s, met een standaardafwijking van 1,0 m/s.

Van het totaal aantal waargenomen zeeschepen was 66% geladen en 34% ongeladen.

Verdeling over de getijfasen

Van het totaal aantal geladen zeeschepen (66% van het totaal aantal waargenomen zeeschepen) voer 59% tijdens vloed en 41% tijdens eb. Van die 59% voer 21% binnen 3 uur ná laagwater en 38% binnen 3 uur vóór hoogwater. Van de 41% voer 31% binnen 3 uur ná hoogwater en 10% binnen 3 uur vóór laagwater. Van het totaal aantal ongeladen zeeschepen (34% van het totaal waargenomen zeeschepen) voer 72% tijdens vloed en 28% tijdens eb. Van die 72% voer 18% binnen 3 uur ná laagwater en 54% binnen 3 uur vóór hoogwater. Van de 28% voer alles binnen 3 uur ná hoogwater. In de periode binnen 3 uur vóór laagwater (die slechts voor een beperkt deel is bemonsterd) is geen zeevaart waargenomen.

Konklusies

Tijdens de waarnemingsperiode in februari 1988 was 66% van de zeeschepen geladen en 34% ongeladen. De gemiddelde vaarsnelheid van de geladen zeeschepen is 5,5 m/s en van de ongeladen zeeschepen 5,7 m/s. Zowel geladen vaart als ongeladen vaart vinden voor het grootste deel tijdens vloed

plaats. De verdeling van de beladingstoestand over de vaarrichting volgt:

	<u>opvaart</u>	<u>afvaart</u>	<u>totaal</u>
geladen:	39%	27%	66%
ongeladen:	20%	14%	34%
totaal:	59%	41%	<u>100%</u>

De voor de hinderlijke waterbeweging belangrijkste groep, de opvaart, maakt 39% uit van het totaal aantal waargenomen zeeschepen.

Er is géén significant verschil aan te geven met de resultaten niet-verdekte meting van november 1987.

2.2.3 Meting november 1980 (verdekt via radar) [5]

Bij deze meting, welke niet alleen een traject rond Walsoorden, hele Westerschelde betrof, zijn alleen vaarsnelheden van op- en af zeeschepen bepaald. De resultaten daarvan zullen kort worden besproken als doel te bepalen of er significante verschillen zijn aan te geven deze meting en de metingen van november 1987 en februari 1988. Er is onderscheid gemaakt tussen opvaart en afvaart.

In figuur 13 zijn de frekwentieverdelingen van het aantal zee tegen waargenomen vaarsnelheid in opvaart en afvaart gegeven. Tevegemiddelde en standaardafwijking van de vaarsnelheden en de totaal-tages voor opvaart en afvaart gegeven.

95% van de opvarende zeeschepen voer in 1980 met een gemiddeldheid tussen de 2,8 m/s en 8,4 m/s. Het gemiddelde over alle waarnemingen in 1980 5,6 m/s, met een standaardafwijking van 1,4 m/s. 95% van de af zeeschepen voer in 1980 met een gemiddelde snelheid tussen de 4,4 8,8 m/s. Het gemiddelde over alle waarnemingen was in 1980 6,6 m/s, standaardafwijking van 1,1 m/s.

Konklusies

Gezien het geringer aantal waarnemingen in 1980 is de spreiding de opvaart groter dan in 1987 en 1988. De gemiddelde vaarsnelheid van schepen in opvaart was in 1980 5,6 m/s en in afvaart 6,6 m/s. Vergelijken '87 en '88 is de gemiddelde vaarsnelheid in afvaart aan de hoge frekwentieverdelingen van de vaarsnelheden komen verder goed overeen van '87 en '88.

Derhalve kan worden gekonkludeerd dat het in november '87 waargenomen vaargedrag een goede weergave is van de werkelijke situatie, voor wat betreft vaarsnelheid, beladingstoestand en vaarrichting.

2.3 Afstand zeeschip - oeverlijn

Er is voor de gemiddelde afstand tot de oeverlijn onderscheid gemaakt tussen opvaart en afvaart. Dit omdat vanwege de geldende regels voor de (zee)vaart op de Westerschelde verwacht mag worden dat (zee)schepen elkaar bakboord-bakboord passeren. Hierdoor zal i.h.a. de opvaart direkt onder de havenmond passeren en de afvaart verder er vandaan.

In figuur 14 zijn voor de opvaart en de afvaart de frekwentieverdelingen over de afstand tot de oeverlijn gegeven, in de vorm van staafdiagrammen.

De opvaart vindt plaats op gemiddeld 298 m uit de oever, met een standaardafwijking van 55 m. Hieruit is af te leiden dat 95% van de opvaart tussen de 188 m en 408 m uit de oever plaatsvindt.

De afvaart vindt plaats op gemiddeld 433 m uit de oever, met een standaardafwijking van 42 m. Hieruit blijkt dat 95% van de afvaart tussen de 349 m en 517 m plaatsvindt. Derhalve vindt de afvaart globaal op een $1\frac{1}{2}$ keer zo grote afstand t.o.v. de oeverlijn plaats dan de opvaart, t.p.v. de haven.

2.4 Konklusies

De konklusies v.w.b. het vaargedrag van zeeschepen op de Westerschelde hebben betrekking op de waarnemingen tijdens de meting van november 1987. Er is in de vorige paragraaf aangetoond dat deze waarnemingen een representatief beeld geven van de situatie op de Westerschelde. Tijdens de waarnemingsperiode in november 1987 heeft 63% van de zeevaart in op- en 37% in afvaart plaatsgevonden. De gemiddelde vaarsnelheid in opvaart is 6,2 m/s en in afvaart 5,2 m/s. Zowel opvaart als afvaart vindt voor het grootste deel tijdens vloed (periode tussen laagwater en hoogwater) plaats. Aangezien de afvaart tijdens vloed stroom tegen heeft, is voor deze categorie de gemiddelde vaarsnelheid t.o.v. een aardvast assenstelsel lager dan tijdens opvaart tijdens vloed met stroom mee.

Van het totale aantal waargenomen zeeschepen is 64% geladen en 36% ongeladen. De gemiddelde vaarsnelheid van geladen zeeschepen is 5,6 m/s en van de ongeladen zeeschepen 5,7 m/s. Zowel geladen vaart als ongeladen vaart

vindt voor het grootste deel tijdens vloed plaats. De verdeling van ladingstoestand over de vaarrichting, zoals tijdens de waarnemingswaargenomen, is als volgt:

	<u>opvaart</u>	<u>afvaart</u>	<u>totaal</u>
geladen:	38%	26%	64%
ongeladen:	25%	11%	36%
totaal:	63%	37%	<u>100%</u>

De volgens het vooronderzoek meeste hinder veroorzakende kategorie laden opvaart, maakt 38% uit van het totaal aantal waargenomen zees. Het varen onder drifthoek, met zeer variërende vaarsnelheid of n slingerang, is nauwelijks gekonstateerd.

De kategorie meest hinder veroorzakende zeeschepen is verder verslag het onderwerp van onderzoek geweest. Deze kategorie bestaat volgende scheepsklassen qua lengte:

- ≤ 100 m: 23 zeeschepen
- 100 - 150 m: 10 zeeschepen
- 150 - 200 m: 9 zeeschepen
- 200 - 250 m: 8 zeeschepen
- ≥ 250 m: 0 zeeschepen

De voor de hinderlijke waterbeweging echt maatgevende klasse (200 - lengte en diepgang > 10 m) is slechts 8 schepen groot.

3. WATERBEWEGING IN DE HAVEN

3.1 Inleiding

Een varend (zee)schip veroorzaakt waterbeweging. Deze waterbeweging bestaat uit primaire en sekundaire scheepsgolven (fig. 30). De primaire scheepsgolf (frontgolf, waterspiegeldaling, retourstroom en haalgolf) heeft een lengte van maximaal de scheepslengte en een periode van (ongeveer) de scheepslengte gedeeld door de vaarsnelheid. Bij zeeschepen (afmetingen globaal: $250 \times 32 \times 10 \text{ m}^3$ (lengte x breedte x diepgang)) is derhalve sprake van een lange golf. De sekundaire golven zijn over het algemeen vrij kort (periode ongeveer 2 à 3 seconden). Beide waterbewegingen kunnen bij passage van een (zee)schip in een voorhaven hinder veroorzaken.

(i) Primaire scheepsgolf

De grootte van de hinder door de primaire scheepsgolf hangt sterk af van de vaarsnelheid, natte dwarsdoorsnede, afstand tot de haveningang én de lengte van het zeeschip t.o.v. de breedte van de havenmond. Hiernaast hebben nog meer factoren invloed, echter in mindere mate. Deze zijn dan ook niet meegenomen.

Vooraf de faktor lengte zeeschip gedeeld door de havenmondbreedte verdient nadere aandacht. Er zijn drie situaties denkbaar:

- lengte zeeschip kleiner dan breedte havenmond;
- lengte zeeschip ongeveer gelijk aan breedte havenmond;
- lengte zeeschip (veel) groter dan breedte havenmond.

Over de eerste twee punten is nog weinig bekend. Omtrent het laatste punt is meer bekend ([7]). Het blijkt dat, indien de havenlengte en de scheepslengte groter zijn dan de breedte van de havenmond én de waterdiepte in de voorhaven groter is dan de waterspiegelvariatiën, de golfdoordringing zich als een één dimensionale lange golf gedraagt.

Een dergelijke situatie als hiervoor geschetst is in de haven van Wals-oorden aanwezig:

- breedte havenmond : gemiddeld 65 m;
- lengte Diepe haven : 180 m;
- waterspiegelvariatiën t.g.v. passerende
 zeevaart (ΔH): orde-grootte 0,30 m;

- lengte zeeschip : gemiddeld 130 m*;
- diepte Diepe haven: gemiddeld 6 m.

* Gemiddelde lengte van alle in november '87 waargenomen opvarende zeeschepen.

Een lange golf ontstaat als volgt. In relatief korte tijd wordt de passage van een zeeschip over de volle breedte van de havenmond waterspiegeldaling geïnitieerd. Deze waterspiegeldaling plant zich in de haven voort als "negatieve" translatiegolf (eerst dal dan top). Aan het einde van de haven reflecteert deze golf en loopt weer terug. Men ervaart het "leeg lopen" van de haven. Enige tijd later wordt over de volle breedte van de havenmond een waterspiegelstijging opgelegd. Deze waterspiegels plant zich in de haven voort als positieve translatiegolf. Aan het einde van de haven reflecteert ook deze golf en loopt weer terug. Men ervaart het weer "vollopen" van de haven. Ten gevolge van het zich voortplanende lange golven in de haven kunnen zich waterspiegelverhangen (een verschil in waterstand op twee verschillende punten, gedeeld door de afstand tussen die punten) en stromingen voordoen. In de haven zelf kan na een geruime tijd na de passage van het zeeschip een onrustige waterbeweging voorkomen.

(ii) Sekundaire scheepsgolf

Behalve primaire scheepsgolven kunnen ook de sekundaire scheepsgolven een rol spelen. Met name de boeg- en hekgolf, alsmede interferentiegolven, kunnen een heftige waterbeweging in de haven veroorzaken. Het betreft echter korte golven (periode 1 à 2 seconden). Deze golven kunnen nog voorkomen na de passage van een zeeschip in de haven.

Uit een beschouwing van alle meetresultaten is gebleken dat slechts een klein deel van het totale bestand met waterbewegingsdata "interessant" (waterspiegelvariaties en/of sekundaire golven groter dan 0,05 m) bevat. Een nadere analyse heeft uitgewezen dat dit deel voornamelijk bestaat uit meetgegevens van waterbeweging door passages van opvarende zeeschepen ($\pm 38\%$ van het totaal aantal zeeschippassages). De verdere verwerking en analyse van de gegevens zich dan ook op dit deel van de meetgegevens.

Aan de hand van de meetresultaten van de meting in de Diepe haven is onderzocht welke sekundaire golven, waterspiegeldalingen/rijzingen, stroomsnelheden en verhangen in het wateroppervlak over lokatie 1 tijdens passages van zeeschepen zijn voorgekomen. Hierbij is aangenomen dat parameters, die in eerdere onderzoeken naar voren zijn gekomen, ook hierbij een rol spelen ([18]). Deze parameters zijn dimensieloos gemaakt m.b.v. de gemiddelde waterdiepte en natte dwarsdoorsnede van het geschematiseerde dwarsprofiel van de Westerschelde:

- de vaarsnelheid : $\frac{v_s}{\sqrt{gh}}$ (-)
- het natte grootspantoppervlak zeeschip : $\frac{A_M}{A_c}$ (m)
- de positie zeeschip t.o.v. de oeverlijn: $\left(\frac{Y}{h}\right)^{-1}$ (m)

Het blijkt dat tussen bovengenoemde parametergroepen en de gemeten sekundaire golven, waterspiegeldalingen/rijzingen en verhangen over lokatie 1 lineaire verbanden bestaan. (Opgemerkt dient te worden dat de hiervoor afgeleide relaties **alleen** geldig zijn voor de situatie in de haven van Walsorden).

3.2 Sekundaire golven

Tijdens de meting bij sekundaire golven gemeten met een maximum amplitude van 0,15 m (zie bijlage 1). Tussen deze max. gemeten amplitude van sekundaire golven ($H_{s, \max}$) en de scheepskarakteristieken - vaarsnelheid (v_s), afstand uit de oever (Y) en natgrootspantoppervlak (A_M), is in bijlage 2 een verband aangegeven. Dit verband luidt aldus:

$$\left(\frac{H_{s, \max}}{h}\right) \approx 11,40 \cdot \left(\frac{A_M}{A_c}\right) \cdot \left(\frac{v_s}{\sqrt{gh}}\right) \cdot \left(\frac{Y}{h}\right)^{-1} + 0,10 \cdot 10^{-2} \quad (-) \quad (1)$$

3.3 Waterspiegelvariaties en stromingen

Tijdens de meting zijn waterspiegeldalingen/stijgingen gemeten, met een maximum van 0,35 m (zie bijlage 1). Tussen deze max. gemeten waterspiegeldalingen/stijgingen ($Z_{\max}$) en de scheepskarakteristieken zoals hierboven genoemd, is in bijlage 2 een verband aangegeven. Dit verband luidt aldus:

$$\left(\frac{z_{\max}}{h}\right) \approx 8,30 \cdot \left(\frac{A_M}{A_C}\right) \cdot \left(\frac{v_s}{\sqrt{gh}}\right) \cdot \left(\frac{y}{h}\right)^{-1} + X \cdot 10^{-2} \quad (-)$$

Voor het begin van lokatie 1 geldt: $X = 0,05$.

Voor het eind van lokatie 1 geldt : $X = 0,13$.

3.4 Verhangen in de Diepe Haven

Tenslotte zijn tijdens de meting de tijdens passages van zeeschepen de Diepe Haven over lokatie 1 optredende verhangen gemeten. Het gemeten verhang over lokatie 1 bedraagt $27,5 \cdot 10^{-4}$.

Ook tussen deze gemeten verhangen over lokatie 1 $\left(\frac{\Delta H_{\max}}{L_{\text{lokl}}}\right)$ scheepsvaartkarakteristieken is een verband afgeleid. Dit luidt aldus

$$\left(\frac{\Delta H_{\max}}{L_{\text{lokl}}}\right) \approx 1,50 \cdot \left(\frac{A_M}{A_C}\right) \cdot \left(\frac{v_s}{\sqrt{gh}}\right) \cdot \left(\frac{y}{h}\right)^{-1} - 1,00 \cdot 10^{-4} \quad (-)$$

De grootte van de aan het begin van lokatie 1 maximaal gemeten snelheden is $0,36 \text{ m/s}$.

3.5 Konklusies

Aan de hand van de meetresultaten van de meting in de Diepe Haven is onderzocht welke sekundaire golven, waterspiegeldalingen/rijzingen, snelheden en verhangen in het wateroppervlak over lokatie 1 tijdens passages van zeeschepen zijn voorgekomen. Hierbij is aangenomen dat parameters die in eerdere onderzoeken naar voren zijn gekomen, ook hierbij een rol spelen. Deze parameters zijn dimensieloos gemaakt m.b.v. de gemiddelde waterdiepte en natte dwarsdoorsnede van het geschematiseerde dwarsprofiel van de Diepe Haven:

- de vaarsnelheid : $\frac{v_s}{\sqrt{gh}} \quad (-)$
- het natte grootspantoppervlak zeeschip : $\frac{A_M}{A_C} \quad (m)$
- de positie zeeschip t.o.v. de oeverlijn: $\left(\frac{y}{h}\right)^{-1} \quad (m)$

Het blijkt dat tussen bovengenoemde parametergroepen en de gemeten sekundaire golven, waterspiegeldalingen/rijzingen en verhangen over lokatie 1 lineaire verbanden bestaan. (Opgemerkt dient te worden dat de hiervoor afgeleide relaties **alleen** geldig zijn voor de situatie in de haven van Wals-oorden). Deze relaties luiden aldus:

$$\text{- Sekundaire golven:} \quad \left(\frac{H_{s,max}}{h} \right) \approx 11,40 \cdot \left(\frac{A_M}{A_C} \right) \cdot \left(\frac{V_s}{\sqrt{gh}} \right) \cdot \left(\frac{Y}{h} \right)^{-1} + 0,10 \cdot 10^{-2} \quad (-)$$

$$\text{- Waterspiegeldalingen/rijzingen:} \quad \left(\frac{Z_{max}}{h} \right) \approx 8,30 \cdot \left(\frac{A_M}{A_C} \right) \cdot \left(\frac{V_s}{\sqrt{gh}} \right) \cdot \left(\frac{Y}{h} \right)^{-1} + X \cdot 10^{-2} \quad (-)$$

Voor het begin van lokatie 1 geldt: $X = 0,05$.

Voor het eind van lokatie 1 geldt: $X = 0,13$.

$$\text{- Verhangen in het wateroppervlak over lokatie 1:} \quad \left(\frac{\Delta H_{max}}{L_{lok1}} \right) \approx 1,50 \cdot \left(\frac{A_M}{A_C} \right) \cdot \left(\frac{V_s}{\sqrt{gh}} \right) \cdot \left(\frac{Y}{h} \right)^{-1} - 1,00 \cdot 10^{-4} \quad (-)$$

Tijdens de gehele meting zijn géén grotere waterspiegelrijzingen/dalingen gemeten dan 0,35 m en géén grotere stroomsnelheden dan 0,35 m/s. De maximale gemeten sekundaire golven zijn 0,30 m.

4. TROSKRACHTEN

4.1 Inleiding

Het is een wens van de opdrachtgever, dat in de haven van Walsoorden tevens globaal troskrachten zouden worden gemeten. Het aantal waarnemen waarbij zowel een schip aan de kade ligt afgemeerd en troskrachtmeetapparatuur is aangesloten, als waarbij een zeeschip de haven passeert en de waterbeweging wordt gemeten, is echter klein. Hierbij moet worden bedacht dat een op lokatie afgemeerd schip wordt gelost door de plaatsgebonden hijskraan, waardoor tijdens het lossen veel verhalen van schip noodzakelijk is. Hierdoor is veel af- en aankoppelen van troskrachtapparatuur noodzakelijk, waardoor veel zeeschippasages "geïmponeerd" zijn.

Naast dit alles heeft de troskrachtmeting een globaal karakter, want er slechts 2 trossen per keer zijn doorgemeten, terwijl de meeste met 3 (en soms zelfs met 4) trossen afmeren. De aldus gemeten troskrachten hebben dan ook een **indikatieve** waarde.

De afmeermethodiek van de op lokatie 1 afgemeerde schepen is van invloed op de optredende troskrachten. Hoe groter het aantal uitgetrokken trossen, hoe lager de optredende troskrachten per tros. Ook de uitgetrokken lengte per tros speelt een belangrijke rol, vooral in een getijdenhaven als Walsoorden. Hoe groter de uitgezette troslengte, hoe groter de rekspanning in de tros en hoe lager de troskrachten per tros. Hiernaast spelen ook nog zaken een rol, zoals de hoek tussen tros en kade, dikte en kwadrant van de tros, soort materiaal, bolderkwaliteit, hoeveelheid loos in de haven e.d. Deze zijn in onderhavig onderzoek niet beschouwd. Wel is tijdens de metingen uit navraag bij de schippers en de havenmeester gebleken dat op lokatie 1 afgemeerde schepen meestal met 3 trossen afmeren, nl. met voorspring en achter een steekeind overdwars (figuur 21). Dit betekent dat de eigenlijke langskrachten bij verplaatsing van het schip door de trossen en voorspring zullen moeten worden opgenomen. Alleen bij zijdelingse verplaatsingen werkt het steekeind mee. Een dergelijke manier van afmeren wordt min of meer "opgedrongen" door de geometrie van de kade t.p.v. lokatie 1. De lengte van de kade is daar ± 110 meter tegen een gemiddelde schipslengte van 85 à 105 meter. Veelal (vooral bij het lossen van het voorschip) ligt het achterschip t.p.v. de ingang van de tijhaven. Er is dan geen meer om een achtertros uit te zetten.

Gezien de hiervoor genoemde situatie geeft het doormeten van voortros en voorspring, bij verplaatsingen in lengterichting van de Diepe haven van de op lokatie 1 afgemeerde schepen, een redelijk beeld van de aktuele situatie. Voor wat betreft troskrachten bij zijdelingse verplaatsingen of bij grote waterspiegeldalingen zal het doormeten van voortros en voorspring geen representatief beeld opleveren van de aktuele situatie.

In de volgende paragrafen zal achtereenvolgens bekeken worden welke troskrachten er optreden in voortros en voorspring tijdens passages van zeeschepen, tijdens verhalen van het afgemeerde schip en t.g.v. het optredende getij.

4.2 Troskrachten tijdens passages zeeschepen

Tijdens de passages van zeeschepen door de raaien A en B voor de haven van Walsoorden zijn de troskrachten in voortros en voorspring gemeten. Informatie over de gebruikte apparatuur is te vinden in [10]. De troskrachten zijn vastgelegd m.b.v. een z.g. 2-kanaalslijnschrijver. Hierop kunnen door het kiezen van de juiste schaal troskrachten tot 300 kN gemeten worden als functie van de tijd. De uitslagen van de lijnschrijver zijn gemerkt bij passage van het zeeschip in raai A en in raai B. Hieruit kan het verband troskracht, gemeten waterbeweging en lokatie zeeschip bepaald worden.

Al snel is tijdens de meting gebleken dat de t.g.v. de passerende zeescheepvaart opgewekte waterbeweging in de haven **nauwelijks** troskrachten werden gemeten. De maximale gemeten troskracht is orde-grootte 5 kN. Uitgaande van de veelgehoorde klacht over trosbreuk door hinderlijke waterbeweging t.g.v. zeeschepen, zouden troskrachten van 200 à 250 kN op moeten treden. Dit is tijdens de meetperiode niet voorgekomen. Er dient hierbij bedacht te worden dat ook de gemeten waterbeweging tijdens de meetperiode relatief **klein** is geweest.

Aangezien het aantal gemeten troskrachten gering is, is er géén verband tussen zeescheepskarakteristieken, gemeten beweging en **gemeten** troskrachten te geven, zoals dit voor de waterbeweging in bijlage 2 is gedaan. Wel is getracht uit de gemeten waterbeweging een theoretische voorspelling te doen omtrent troskrachten en zijn de gemeten troskrachten daarin (binnen de spreiding rond dat verband) aangegeven.

Er is uitgegaan van de aanname dat de **verhangen** over lokatie 1 de grootste invloed hebben op de troskrachten. De invloed van sekundaire golven en van stroming tijdens vulling en lediging van de Diepe haven tijdens en na

passages van zeeschepen wordt klein verondersteld. Bovendien wordt nomen dat de gesignaleerde afmeermethodiek (met slechts 3 trossen, voortros, voorspring en achtersteekkeind) gezien de informatie daaronder gezien de waarnemingen daaromtrent tijdens de meting, representatief is voor de situatie ter plaatse.

Uitgaande van het feit dat verhangen over lokatie 1 maatgeven voor de optredende troskrachten, zijn de volgende aspecten van belang:

- de grootte van het verhang over lokatie 1;
- de tijdsduur waarover dat verhang optreedt;
- de wijze van afmeren;
- de scheepskarakteristieken van het afgemeerde schip (afmetingen en draagvermogen);
- de gemeten troskrachten t.o.v. de m.b.v. de verhangen berekende troskrachten.

Het aldus te verkrijgen inzicht in troskrachten is **globaal en oppervlakkig**, omdat vele parameters, die ook een rol kunnen spelen, niet zijn nomen (toestand tros, kwaliteit, materiaal, afmetingen tros, rek tros, "ruimte" in tros bij afmeren, etc.). Er is aangenomen dat de trossen hangen (hetgeen vaak het geval was) en dat de trossen oneindig stijf zijn (tros rekt dus niet). Aangezien het steekkeind achter ongeveer loodrecht op het schip wordt uitgebracht, wordt aangenomen dat deze tros in het tenspel in het verlengde van de Diepe haven geen rol speelt.

Uit het voorgaande is af te leiden dat een verhang over lokatie 1 direkt leidt tot een kracht in òfwel voortros òfwel voorspring, afhankelijk van het teken van het verhang. Indien een dergelijk verhang nl. voor lang genoeg optreedt, wil het afgemeerde schip verplaatsen en gaat het "z'n trossen hangen". Hiertoe zal een verhang lang genoeg op moeten treden (te denken valt aan 30 seconden of langer). Uit de meting is gebleken dat dit laatste inderdaad het geval was en dat de gemeten verhangen gemiddeld à 60 seconden zijn opgetreden. De relatie troskracht-verhang is dan te geven:

$$F_{\text{tros}} = \left(\frac{\Delta H_{\text{gem}}}{L_{\text{lok1}}} \right) \cdot W_s \cdot \text{faktor} \cdot [\text{kN}] \quad (6)$$

Hierin is:

$$\left(\frac{\Delta H_{\text{gem}}}{L_{\text{lok1}}} \right) = \text{gemiddelde verhang gedurende 30 sekonden of meer over lokatie 1.} \quad (-)$$

W_s = het gewicht van het afgemeerde schip (gewicht ledig plus lading). (kN)

Faktor = een konstante waarin de hoek tussen tros en kade zit. In dit geval (zie figuur 21) is aangenomen een helling in de tros t.o.v. de kade van 1:5, zodat voor de faktor $\frac{1}{5} \cdot \sqrt{26}$ is aangehouden. (-)

Volgens relatie (6) zijn gemeten verhangen direkt om te rekenen tot troskrachten, binnen de gemaakte aannames. In figuur 22 is dit verwerkt. Hierin zijn de gemeten verhangen op bovengenoemde wijze omgerekend naar troskrachten. Om de invloed van verschillende scheepsgewichten eruit te halen zijn de troskrachten berekend per ton scheepsgewicht. E.e.a. is, evenals bij de waterbeweging in hoofdstuk 3, uitgezet tegen de zeeschipkarakteristieken, nat grootspantoppervlak, vaarsnelheid en afstand. Eenzelfde verband als tussen deze zeeschipkarakteristieken en verhangen volgt nu (op andere schaal) tussen zeeschipkarakteristieken en troskrachten. In deze figuur zijn tevens voor een vijftal metingen de **gemeten** troskrachten uitgezet. Het blijkt dat de gemeten troskrachten goed binnen het theoretische verband vallen (dit op basis van slechts 5 troskrachtmetingen).

De grootte van de gemeten troskrachten is klein (variërend tussen de 0 en 4,5 kN per tros maximaal tijdens passages van zeeschepen).

4.3 Troskrachten tijdens verhalen

Naast het meten van troskrachten bij afgemeerde schepen t.g.v. passerende zeeschepen, is ook gekeken naar de tijdens het verhalen optredende troskrachten. Tijdens het verhalen van de lossende schepen in de Diepe haven wordt i.h.a. de volgende werkwijze gevolgd: (dit bij de met 3 trossen (voortros, voorspring en (achter)steekeind) afgemeerde schepen):

- vieren achtersteekeind;
- veel loos geven in voorspring;
- opvaren op motor tot gewenste ligging;
- afstoppen door vastzetten voorspring;
- inhalen loos op voortros;
- aanhalen achtersteekeind.

Hierna blijft het schip enige tijd heen en weer bewegen, daarbij telings voortros en voorspring belastend, tot deze beweging is uitgegleden. Een voorbeeld van gemeten troskrachten bij een dergelijk verhalen van het m.s. Lenie is gegeven in figuur 23. In deze figuur zijn op dezelfde tijden tijdens de passage van een zeeschip bij het m.s. Lenie maximaal troskrachten t.g.v. de waterbeweging uitgezet. Duidelijk is te zien dat tijdens verhalen van het m.s. Lenie 25 à 50 maal zo grote troskrachten optreden als t.g.v. de waterbeweging tijdens de passages van een zeeschip. Aan het aantal waarnemingen met troskrachten zeer beperkt is, is hierover niets met zekerheid te stellen. Duidelijk moge echter zijn dat tijdens de meetperiode geen indicaties zijn gevonden van mogelijk grote troskrachten t.g.v. waterbeweging door passerende zeeschepen, terwijl tijdens de periode wél indicaties zijn gevonden van grote troskrachten tijdens verhalen.

Konklusies

Bij de in de Diepe haven afgemeerde schepen zijn tijdens verhalen 50 maal zo grote troskrachten gemeten als t.g.v. waterbeweging door passerende zeeschepen.

4.4 Troskrachten tijdens getijbeweging

Evenals de gemeten troskrachten tijdens verhalen zijn ook troskrachten gemeten t.g.v. de optredende getijbeweging. In dit geval zijn bij een veer 60 à 70% geladen m.s. Lenie tussen 2 en 3 uur ná hoogwater (eb) de trossen strak gezet. Deze situatie is analoog aan die waar de schipper "vergeet" extra loos in de trossen te zetten tijdens afnemen (b.v. 's nachts tijdens de rustperiode).

De in deze situatie gemeten troskrachten zijn weergegeven in figuur 24. De maxima welke gemeten zijn, zijn 22 kN in de voortros en 20 kN in de voorspring. Deze maxima zijn gemeten ± 50 minuten ná strekken van de trossen troskrachten. Hierna is de meting verstoord door het in de Diepe doordringen van een lange translatiegolf uit de Westerschelde. De meting is toen stopgezet. Verwacht kan worden dat hogere waarden hadden kunnen worden gevonden als er langer zou zijn doorgemeten. Toch zijn de hierbij gemeten troskrachten al orde-grootte 5 maal zo groot als gemeten t.g.v. waterbeweging door de passerende zeeschepen.

Konklusies

Door tijdens het afnemende water de trossen aan het m.s. Lenie strak te laten staan, zijn troskrachten gemeten in spring en voortros van ongeveer 5 maal zo groot als t.g.v. waterbeweging door passerende zeeschepen. Het is niet ondenkbaar dat grotere waarden kunnen optreden.

4.5 Konklusies

Naar de wijze van afmeren en de bij afgemeerde schepen optredende troskrachten zowel t.g.v. waterbeweging door passerende zeeschepen en t.g.v. verhalen van het schip als t.g.v. de getijbeweging zijn globaal metingen verricht. Gezien het gering aantal waarnemingen hebben konklusies dan ook slechts indicatieve waarde.

Het blijkt dat gezien de geometrie van lokatie 1 schepen ter plaatse meestal met slechts 3 trossen afmeren (voortros, voorspring en (achter)-steekend), waarbij het (achter)steekend loodrecht op de kade staat en voorspring en tros ongeveer onder 1:5. De gemeten troskrachten t.g.v. waterbeweging door passerende zeeschepen zijn relatief klein. Maximaal is 4,5 kN gemeten.

De gemeten troskrachten t.g.v. het verhalen van de schepen in de Diepe haven zijn ongeveer 25 à 50 maal zo groot als gemeten t.g.v. waterbeweging door passerende zeeschepen.

De gemeten troskrachten tijdens afnemend water (door bij een 60 à 70% geladen schip ongeveer 50 minuten de voortros en voorspring strak te houden) zijn ongeveer 5 maal zo groot als gemeten t.g.v. waterbeweging door passerende zeeschepen. Deze waarden kunnen nog verder oplopen als een dergelijke proef langer doorgevoerd zou worden.

Tijdens de troskrachtmetingen is niet aangetoond dat t.g.v. waterbeweging door passerende zeeschepen hinderlijke c.q. kritieke situaties ontstaan. Hierbij dient bedacht te worden dat de tijdens de meetperiode maximaal waargenomen waarde voor $\left(\frac{A_M}{A_C}\right) \cdot \left(\frac{V_S}{\sqrt{gh}}\right) \cdot \left(\frac{Y}{h}\right)^{-1}$ lager dan $7,7 \cdot 10^{-4}$ is

geweest, terwijl uit de ongevalsrapporten is gebleken dat deze waarden tijdens de ongevalssituaties tussen 1983 en 1986 orde-grootte 13 à $17 \cdot 10^{-4}$ zijn geweest (zie bijlage 2). Hoe hierbij toen de afmeersituatie (v.w.b. tros, kwaliteit, hoeveel loos, e.d. van binnenschepen) op lokatie 1 is geweest, is niet bekend.

5. INVLOED VERDIEPING WESTERSCHELDE

5.1 Inleiding

In dit hoofdstuk zal worden aangegeven hoe een eventuele verdieping de drempels in de Westerscheldevaargeul de waterbeweging in de haven van Walsoorden zal beïnvloeden. Hierbij zal gebruik worden gemaakt van de relaties welke in vorige hoofdstukken aangegeven en in bijlage 2 nader uiteengezet zijn. Er dient hierbij bedacht te worden dat deze relaties alleen toepassing zijn op de haven van Walsoorden.

Om een uitspraak te doen omtrent de gevolgen van een eventuele verdieping van de Westerschelde, waardoor vaarsnelheid en diepgang van de goederen en ongeladen zeeschepen zouden kunnen toenemen, is het natte dwarsprofiel van de vaargeul t.p.v. de haven van Walsoorden geschematiseerd tot een gebroken trapeziumvormig dwarsprofiel (zie figuur 25). Dit geschematiseerde dwarsprofiel heeft de volgende kentallen t.o.v. NAP:

- $\overline{A_c} \approx 14.400 \quad (\text{m}^2);$
- $\overline{h} \approx 22,40 \quad (\text{m}) \text{ (in de vaargeul);}$
- $h' \approx 12,50 \quad (\text{m}) \text{ (} h' = \frac{\overline{A_c}}{b_w} \text{);}$
- $b_w \approx 1150 \quad (\text{m}).$

Er zal verder in deze notitie van bovenstaande schematisatie uitgegaan. Aan de hand van deze schematisatie zal een voorspelling worden gemaakt van positie, vaarsnelheid en diepgang van zeeschepen ná verandering van de Westerschelde en zal worden aangegeven hoe dit de waterbeweging in de haven van Walsoorden zou kunnen beïnvloeden.

5.2 Vaargedrag en waterbeweging na verdieping

Voor wat betreft het na een eventuele verdieping te verwachten gedrag van zeeschepen, is gekeken naar vaarafstand t.o.v. de oeverlijn, vaarsnelheid t.o.v. water. Bij deze laatste term is ook de verwachte diepgang betrokken.

Vaarafstand

Het is te verwachten dat een verdieping van de vaargeul in de Westerschelde geen aanleiding zal zijn voor veranderingen in vaarafstand t.o.v. de oeverlijn t.p.v. de haven van Walsoorden. Dit betekent dat aangenomen kan worden dat zeeschepen ná een evt. verdieping van de Westerschelde op dezelfde afstanden de haven van Walsoorden zullen passeren:

- opvaart: gemiddelde afstand ongeveer 300 m uit de oever. Standaardafwijking: ± 55 m.
- afvaart: gemiddelde afstand ongeveer 435 m uit de oever. Standaardafwijking: ± 40 m.

Vaarsnelheid

Voor het bepalen van de theoretisch mogelijke vaarsnelheden van de geladen opvarende schepen (de belangrijkste doelgroep van onderhavig onderzoek) is informatie nodig omtrent huidige maximale toegelaten diepgang en toekomstige voorgestelde toegelaten diepgang.

Uit [11] volgt dat de maximaal toegelaten diepgang sterk afhankelijk is van de getijfase waarin het zeeschip vaart, de snelheid van het schip en de te verwachten waterstand boven de drempels in de vaargeul. De maximale diepgang (T_S) van niet-tijgebonden zeeschepen is t.p.v. de drempel van Zandvliet 38' (11,59 m). Voor wat betreft de door deze zeeschepen geïnduceerde waterbeweging is de periode rond laag water maatgevend (Geval I).

De maximale diepgang van tijgebonden zeeschepen is thans 14,0 m (onder gunstige omstandigheden, zoals springtij [11]). Voor wat betreft de door deze zeeschepen geïnduceerde waterbeweging is de periode rond hoogwater maatgevend (Geval II).

Indien de gehele Westerschelde gefaseerd verdiept wordt, zoals in [11] is voorgesteld, is voor de niet-tijgebonden zeeschepen in de toekomst een diepgang van 13,0 m mogelijk en voor de tijgebonden zeeschepen 15,25 m, bij minimaal 10% kielspeling. Deze waarden hebben betrekking op het Westerscheldevak rond Zandvliet, waarin ook Walsoorden ligt.

Geval I: $T_S = 11,59$ m op GLW (2,25 -NAP).

Hieruit volgen m.b.v. figuur 25 de volgende kentallen voor de natte dwarsdoorsnede:

$$\bar{A}_C \approx 12.100 \quad (\text{m}^2)$$

$$\bar{h} \approx 20,15 \quad (\text{m}) \quad (\text{in de vaargeul})$$

$$h' \approx 11,42 \quad (\text{m})$$

$$b_W \approx 1060 \quad (\text{m})$$

$$A_M \approx 33,0 \times 11,59 \times 0,9 = 344 \quad (\text{m}^2)$$

Met behulp van figuur 26 kan nu een schatting worden gemaakt van de fysisch maximaal haalbare vaarsnelheid (V_L) t.o.v. water voor de huidige situatie. Rond de laagwaterkentering is dit tevens ongeveer de vaarsnelheid t.o.v. de aarde:

$$\left. \begin{array}{l} \frac{A_M}{A_C} \approx 0,029 \\ h' \approx 11,42 \end{array} \right\} \frac{V_L}{\sqrt{gh'}} \approx 0,80 \rightarrow V_L \approx 8,5 \quad (\text{m/s})$$

In de nieuwe situatie (na de voorgestelde verdieping van de Westerschelde) zou dit voor de vaargeulafmetingen nabij Walsoorden zelf geen verandering betekenen. Wel zouden de diepgang en het natte grootspantoppunt van passerende zeeschepen toenemen:

$$\begin{array}{ll} T_{S,\text{nieuw}} = 13,0 & (\text{m}) \\ A_{M,\text{nieuw}} = 33,0 \times 13,0 \times 0,90 = 386 & (\text{m}^2) \\ \left. \begin{array}{l} \frac{A_{M,\text{nieuw}}}{A_C} \approx 0,032 \\ h' \approx 11,42 \end{array} \right\} \frac{V_L}{\sqrt{gh'}} \approx 0,79 \rightarrow V_{L,\text{nieuw}} \approx 8,4 \quad (\text{m/s}) \end{array}$$

E.e.a. leidt in de oude situatie tot:

$$\left(\frac{A_M}{A_C} \right) \cdot \left(\frac{V_S}{\sqrt{gh}} \right) \cdot \left(\frac{Y}{h} \right)^{-1} \approx 0,029 \cdot \left(\frac{8,5}{\sqrt{9,81 \cdot 20,15}} \right) \cdot \left(\frac{300}{20,15} \right)^{-1} = 11,7 \cdot 10^{-4}$$

In de nieuwe situatie, na verdiepen van de Westerschelde, zou dit leiden tot:

$$\left(\frac{A_{M,\text{nieuw}}}{A_C} \right) \cdot \left(\frac{V_{S,\text{nieuw}}}{\sqrt{gh}} \right) \cdot \left(\frac{Y}{h} \right)^{-1} \approx 0,032 \cdot \left(\frac{8,4}{\sqrt{9,81 \cdot 20,15}} \right) \cdot \left(\frac{300}{20,15} \right)^{-1} = 12,8 \cdot 10^{-4} \quad (\text{maximaal})$$

M.b.v. relaties (1), (2), (3) en (5) zijn met bovenstaande waarden de oude situatie (vóór verdieping) en de nieuwe situatie (na verdieping) voor de niet-tijgebonden schepen de maximaal te verwachten secundaire verhogingen, waterspiegeldalingen/rijzingen en verhangen in de Diepe haven 1 en vergeleken. In de nieuwe situatie blijken de volgende toenames gerund op te treden:

- (i) sekundaire golven : $\pm 9\%$ toename ná verdieping
- (ii) waterspiegeldalingen/stijgingen: $\pm 9\%$ toename ná verdieping
- (iii) verhangen in de Diepe haven : $\pm 10\%$ toename ná verdieping

De gemiddelde toename qua waterbeweging zal dus ná verdieping voor niet-tijgebonden schepen ongeveer 10% bedragen.

Geval II: $T_S = 14,0$ (m) op G.H.W. (2,25 +NAP)

Hieruit volgen m.b.v. figuur 25 de volgende kentallen voor de natte dwarsdoorsnede:

$$\overline{A_C} \approx 17.100 \quad (\text{m}^2)$$

$$\overline{h} \approx 24,65 \quad (\text{m})$$

$$h' \approx 14,37 \quad (\text{m})$$

$$b_w \approx 1190 \quad (\text{m})$$

$$A_M \approx 50,0 \times 14,0 \times 0,9 = 630 \quad (\text{m}^2)$$

Met behulp van figuur 26 kan nu een schatting gemaakt worden van de fysisch maximaal haalbare vaarsnelheid (V_L) t.o.v. water voor de huidige situatie. Rond de hoogwaterkentering is dit tevens ongeveer de vaarsnelheid t.o.v. de aarde:

$$\left. \begin{array}{l} \frac{A_M}{\overline{A_C}} \approx 0,037 \\ h' \approx 14,37 \text{ (m)} \end{array} \right\} \frac{V_L}{\sqrt{gh'}} \approx 0,77 \rightarrow V_L \approx 9,2 \quad (\text{m/s})$$

In de nieuwe situatie (ná verdieping) zou gelden:

$$T_{S,\text{nieuw}} = 15,25 \quad (\text{m})$$

$$A_{M,\text{nieuw}} = 50,0 \times 15,25 \times 0,9 = 687 \quad (\text{m}^2)$$

$$\left. \begin{array}{l} \frac{A_M}{\overline{A_C}} \text{ nieuw} \approx 0,040 \\ h' \approx 14,37 \text{ (m)} \end{array} \right\} \frac{V_L}{\sqrt{gh'}} \approx 0,76 \rightarrow V_{L,\text{nieuw}} \approx 9,0 \quad (\text{m/s})$$

E.e.a leidt in de oude situatie tot:

$$\left(\frac{A_M}{A_C}\right) \cdot \left(\frac{V_S}{\sqrt{gh}}\right) \cdot \left(\frac{A}{h}\right)^{-1} \approx 0,037 \cdot \left(\frac{9,2}{\sqrt{9,81 \cdot 24,65}}\right) \cdot \left(\frac{300}{24,65}\right)^{-1} =$$

$18,0 \cdot 10^{-4}$ (maximaal)

en in de nieuwe situatie, ná verdiepen van de Westerschelde, tot:

$$\left(\frac{A_{M,nieuw}}{A_C}\right) \cdot \left(\frac{V_{S,nieuw}}{\sqrt{gh}}\right) \cdot \left(\frac{A}{h}\right)^{-1} \approx 0,040 \cdot \left(\frac{9,0}{\sqrt{9,81 \cdot 24,65}}\right) \cdot \left(\frac{30}{24,65}\right)^{-1} =$$

$19,0 \cdot 10^{-4}$ (maximaal)

De toename van de waterbeweging in de nieuwe situatie (ná verdieping) t.o.v. de oude situatie zou dan worden (vgl. (1), (2), (3) en (5)):

- (i) sekundaire golven : ±5% toename ná verdieping
- (ii) waterspiegeldalingen/stijgingen: ±5% toename ná verdieping
- (iii) verhangen in de Diepe haven : ±6% toename ná verdieping

De gemiddelde toename qua waterbeweging zal dus ná verdieping voor gebonden zeeschepen ongeveer 6% bedragen.

De waarden gevonden voor de grenssnelheid (V_L) zijn indicatief. In de praktijk zal een zeeschip onder normale omstandigheden deze vaarsnelheden nooit bereiken. Zij zijn hier dan ook gebruikt als rekengrootheden.

Er is dus globaal een toename van de waterbeweging in de haven van Walsoorden te verwachten van 10%. Dit houdt in dat sekundaire golven van ± 0,35 m en waterspiegeldalingen/rijzingen van ± 0,40 m te verwachten zijn. In de zelfde lijn doorgetrokken zouden verhangen van ± 30,0 10^{-4} in de Diepe Haven kunnen optreden en stroomsnelheden van orde-grootte 0,40 m/s.

Uit bovenstaande waarden blijkt, mede op grond van de oude situatie, gemeten troskrachten én waargenomen hinder bij afgemeerde schepen niet dat bij 10% grotere waarden de hinder voor afgemeerde schepen vaardbaar zal toenemen.

5.3 Troskrachten na verdieping

Aan de hand van de in de vorige paragraaf gegeven toename van de waterbeweging, is een globale indikatie te geven van de te verwachten troskrachten ná verdieping van de Westerschelde.

Uitgaande van een toename van 10% van de theoretisch mogelijk optredende verhangen (frekwentie ongeveer 1,5 maal per jaar) kunnen de volgende waarden optreden:

$$0 \leq \frac{F_{\text{tros}}}{W_s} \leq 28 \quad (\text{N/t})$$

Bij een zandschip ($W_s \approx 2000$ ton) zou dit kunnen leiden tot troskrachten van $\pm 28 \cdot 10^{-3} \cdot 2000 = 56$ kN. Aangezien de breuksterkte van trossen veel groter is, zijn er hierdoor géén problemen te verwachten.

Op grond van de meting in november '87 kan in ieder geval gekonkludeerd worden dat het **onder voorspanning** (van orde-grootte 20 à 40 KN) brengen van **voldoende** ver (orde-grootte 20 à 30 m) uitgebrachte trossen waarbij **minimaal twee** trossen in dezelfde richting werken, tot een veel stabielere ligging van het afgemeerde schip zal leiden en de kansen op trosbreuk aanzienlijk zal reduceren. Voorwaarden hierbij zijn:

- kwaliteit trossen dient goed te zijn;
- voorspring, achtertros én voortros, achterspring uitzetten;
- de juiste, voor het scheepstype aanbevolen, trosdiameter gebruiken;
- op lokatie 1 slechts met één schip tegelijk afmeren.

5.4 Konklusies

Na de verdieping van de Westerschelde zal de waterbeweging in de haven van Walsoorden t.g.v. passerende zeeschepen met maximaal 10% toenemen. Voor wat betreft de situatie in de haven zal dit niet tot een onaanvaardbare toename van de hinder leiden. De bij deze geringe toename van de hinder optredende troskrachten zullen veel lager zijn dan bijvoorbeeld optredend bij een verhalend schip.

6. MOGELIJKE MAATREGELEN TEGEN HINDERLIJKE WATERBEWEGING

6.1 Inleiding

In dit hoofdstuk zullen de in de haven van Walsoorden belangrijke hinder veroorzakende onderdelen van de waterbeweging t.g.v. passerende schepen nader beschouwd worden. Verder zal aangegeven worden op welke de hinder door deze waterbeweging verminderd kan worden. Er zal niet gegaan worden dat konkrete oplossingen aangedragen worden. Dat valt buiten het kader van dit onderzoek. Wel zal worden aangegeven in welke richting zocht moet worden om met het meeste rendement de hinder in de haven te afnemen. Het hierbij aangeven van de exakte technische oplossing (incl. economische afweging) zal in een later stadium moeten plaatsvinden.

In hoofdzaak is er in onderhavig onderzoek in twee richtingen gegaan naar een mogelijke vermindering van de tijdens passages van zeeschepen in de haven optredende hinderlijke waterbeweging:

- d.m.v. geometrieveranderingen van de haven (qua vorm, lengte, breedte en diepte);
- d.m.v. veranderingen bij het afmeren (afmeerstrategie).

Andere oplossingen zijn denkbaar (dempen van de haven, aanbrengen van een deurconstructie, e.d.) maar zijn òf wel gezien de realiteitswaarde vanwege de geschatte kosten in relatie tot het probleem buiten beschouwing gelaten.

6.2 Mogelijke maatregelen

Geometrieverandering haven

Een mogelijke oplossing voor het probleem van hinderlijke waterbeweging in de haven van Walsoorden is het veranderen van de geometrie (de afmetingen) van de haven. Hierbij kan worden gedacht aan:

- het aanbrengen van pieren t.p.v. de havenmond;
- andere vorm/afmeting van de havenmond;
- andere diepte van de tijhaven;
- andere vorm/afmetingen van de totale haven.

Andere oplossingen zijn mogelijk, maar zijn in onderhavige notitie niet beschouwd.

- Het aanbrengen van pieren c.q. anders gevormde havenhoofden t.p.v. de havenmond is voor de voorhaven te Hansweert uitvoerig in model onderzocht 1. Hierbij heeft de aandacht zich vooral gericht op het zoveel mogelijk buiten de haven houden van stroming t.g.v. getijbeweging en sediment, alsook op de mate van verstoring van dergelijke veranderingen op het stroombeeld in de Westerschelde. Er is niet gekeken naar het binnendringen van sekundaire golven (korte golven), waterspiegel-dalingen/rijzingen (lange golven) en het daardoor optreden van verhangen over de haven. Uit genoemd modelonderzoek is o.a. naar voren gekomen dat het aanbrengen van uitstekende havenhoofden (pieren) in de havenmond een gunstig effect heeft op het stroombeeld in en de sedimentatie van de achtergelegen haven.
- De vorm/afmeting van de havenmond heeft een relatief grote invloed op de mate van doordringing van waterbeweging in de haven t.g.v. passerende zeeschepen:
 - * stromingen (zowel retourstroom als stroming t.g.v. getijbeweging) kunnen aanzienlijk worden gereduceerd door een gunstige vorm van de havenhoofden in de havenmond [1].
 - * Sekundaire golven (korte golven) dringen minder sterk door in de haven wanneer de toegang ertoe kleiner en beter "afgeschermd" is.
 - * Waterspiegeldalingen/stijgingen (lange golven) manifesteren zich minder in de haven naarmate de havenmondbreedte t.o.v. de lengte van een passerend zeeschip groot is. Tevens geldt dat hoe groter in dit geval het kolkvolume van de haven is, hoe kleiner de waterspiegelvariaties t.g.v. die lange golven en hoe groter de periodes van die lange golven zijn. Dit laatste heeft als gevolg dat de waterspiegelveranderingen een lagere frekwentie hebben, waardoor de hinder voor afge-meerde schepen afneemt.

De invloed van havengeometrie, kolkvolume en waterdiepte (bodempligging haven) is onderzocht m.b.v. het ééndimensionale lange golfprogramma "Implic". Met dit programma is het mogelijk de doordringing in tijd en ruimte (x,h)-vlak) van een aan de rand opgelegde verstoring (waterspiegeldaling c.q. stijging) in een bepaalde geometrie te volgen. Voor de haven van Walsoorden zijn de volgende situaties onderzocht:

- (i) Voortplanting van lange golven t.g.v. een passerend zeeschip in de huidige geometrie bij laag-, gemiddeld- en hoogwater (zie hiervoor hoofdstuk 1 en figuur 5, 6 en 7).

- (ii) Voortplanting van lange golven t.g.v. een passerend zeeschip : geometrie bevattende een verdiepte tijhaven (bodemligging analo die in de Diepe haven, nl. op 6,10 m -NAP) en een gedempte ti (bodem $\pm 3,00$ m +NAP), bij laag, gemiddeld en hoogwater.
- (iii) Voortplanting van lange golven t.g.v. een passerend zeeschip : geometrie bevattende een verdiepte tijhaven (bodem 6,10 m -NA een extra "tijhaven" daar recht tegenover van dezelfde afme (bodem 6,10 m -NAP), bij laag-, gemiddeld- en hoogwater.

Voor al deze situaties is aan de rand (in de Westerscheldevaarg ± 300 m uit de oever) de door een op hoge snelheid geladen opvarend deld zeeschip opgewekte waterbeweging opgelegd. De uitkomsten van de hi bij (ii) en (iii) beschreven akties zijn weergegeven in de figuren 27, 29.

Het blijkt dat qua grootte van de waterspiegelvariatiës vlak vor middeld laagwater (waterstand 2,16 m -NAP), in knooppunt 6 (begin Die ven) nauwelijks een vermindering optreedt t.o.v. de huidige situatie het verdiepen van de huidige tijhaven of het aanbrengen van een eve extra tijhaven, daar recht tegnover (zie figuur 27). (Hiervoor zou eve op het haventerrein ruimte zijn). In knooppunt 8 (eind Diepe have sprake van enige afname van de grootte van de waterspiegelvariatiës, bij het verdiepen van de huidige tijhaven als bij het aanbrengen v tweede tijhaven. In deze situatie staat de tijhaven volledig droog.

Bij een waterstand halverwege tussen laag- en hoogwater (waterst. NAP) heeft het verdiepen van de tijhaven of het aanbrengen van een tijhaven weinig invloed op de grootte van de waterspiegelvariatiës in punt 6 en 8 (zie figuur 28).

Tijdens hoogwater (waterstand 2,44 m + NAP) blijkt dat de lange periode de eigen frekwentie van de haven bewerkt bij één of twee ver tijhavens (zie figuur 29). De waterspiegelvariatiës worden een faktor groter. Dit geldt voor beide knooppunten.

Voor alle situaties (laagwater, hoogwater en er tussenin) blijf vergroting van het kolkvolume (door verdieping huidige tijhaven én doo voegen van een extra tijhaven) een aanzienlijke periodevergroting op van de binnendringende lange golf. Dit heeft als voordeel dat watersp variatiës per eenheid van tijd zich langzamer voltrekken. Daardoor ne hinder bij afgemeerde schepen af.

Eigen frekwentie haven

Gezien het sterke opslingeren van de waterspiegelvariaties bij hoogwater en één (of twee) verdiepte tijhaven(s), is het zinvol kort in te gaan op dit verschijnsel. Geschematiseerd zien Diepe en tijhaven er als volgt uit:

- lengte Diepe haven : 140 m (tot midden tijhaveningang);
- lengte tijhaven : 225 m (tot midden Diepe haveningang);
- diepte Diepe haven : 8,54 m (hoogwater);
- diepte tijhaven nu : 2,74 m (hoogwater, gemiddeld);
- tijhaven verdiept : 8,54 m (hoogwater).

Met behulp van deze waarden zijn de voortplantingssnelheden van de lange golven in beide havens te schatten:

- Diepe haven : 9,15 m/s;
- tijhaven nu : 5,35 m/s;
- verdiept : 9,15 m/s.

Dit levert de volgende looptijden op voor de (heen én terugkeer van) de lange golven:

- Diepe haven : $\pm 15,2$ s;
- tijhaven nu : $\pm 45,0$ s;
- verdiept : $\pm 24,5$ s.

Dit betekent voor de huidige situatie dat na 90 seconden de lange golf heen en weer lopend in de Diepe haven (en reflektierend tegen de achterwand én tegen het splitsingspunt met de tijhaven) en de lange golf heen en weer lopend in de Tijhaven (en reflektierend tegen de achterwand én tegen het splitsingspunt met de Diepe haven) **tegelijk** op genoemd splitsingspunt aankomen en interfereren. Hierdoor ontstaan iedere 90 seconden pieken. In figuur 28 is dit te zien.

Als een verdiepte (bodem op 6,10 m -NAP) tijhaven wordt aangelegd ontstaat hetzelfde beeld. Iedere 122 seconden komen beide gereflekteerde lange golven tegelijkertijd op het splitsingspunt aan en interfereren. Bovendien is de voortplantingssnelheid van de lange golf in dit geval in de tijhaven veel groter, zodat méér energie aanwezig is in dit golffront. Hierdoor is de opslinging nog een faktor groter (zie figuur 29).

Uit dit gevoeligheidsonderzoek blijkt dat zeer voorzichtig dient te worden omgegaan met veranderingen in de geometrie van de haven. In plaats van verminderde waterbeweging zou wel eens een heftiger waterbeweging kunnen

ontstaan. Hierdoor én door het feit dat geometrieveranderingen in de tijd erg kostbaar zijn, worden deze aanpassingen dan ook niet aanbevolen.

Wijze van afmeren

Naast de hiervoor aangegeven vermindering van de waterbeweging tusschen de doordringing van lange golven in de haven door de geometrie van de haven te veranderen, is veel meer "winst" te behalen door een andere wijze van afmeren te hanteren. Welke problemen (c.q. welke hinder) spelen n.l. v.w. afgemeerde binnenvaart een rol?

- (i) het grote getijverschil (gemiddeld verschil hoog- en laagwater 4,50 m);
- (ii) de in de Diepe haven optredende waterspiegeldalingen/rijzen t.g.v. passages van zeeschepen;
- (iii) het in de lengterichting van de Diepe haven optredende verhang van de waterspiegel, met de daarbij behorende stroming (hoewel in de periode nauwelijks gemeten), t.g.v. passages van zeeschepen;
- (iv) de in de Diepe haven optredende sekundaire (korte) golven t.g.v. passages van zeeschepen, sleepboten en wind, e.d.

Bovenstaande problemen uiteten zich bij de afgemeerde binnenschepen trosschade, in grote verplaatsingen, zowel horizontaal als vertikaal, een onrustige ligging van het schip. Dit laatste aspect, vooral een gevolg van het onder (iv) genoemde, is weliswaar hinderlijk, maar levert in de praktijk maar zelden échte problemen zoals trosschade op. Het is vooral merkbaar tijdens het lossen (m.b.v. een dragline of zuiger) van het schip. Hierop zal dan ook niet verder worden ingegaan, aangezien oplossingen voor zouden kunnen volgen uit een nadere studie naar de geometrie van de havenmond. Echter de problemen genoemd onder (i), (ii) en (iii) zijn op relatief eenvoudige wijze sterk te verminderen:

(i): Het grote getijverschil

Grote verticale verplaatsingen in de tijd van het afgemeerde binnenschip zijn volledig op te vangen door een afmeergelegenheid te creëren die een verticale vrijheidsgraad bevat. Hierbij valt te denken aan een afmeergelegenheid die horizontaal oneindig stijf is en vertikaal vrij het getij te volgen. De tijdens de getijbeweging door het snel dalen van het water

vlak relatief grote troskrachten kunnen hierdoor vrijwel voorkomen worden. Situaties (zoals in hoofdstuk 4 aangegeven) waarbij schepen vlak na hoogwater strak worden afgemeerd en waarbij vervolgens in 1 à 2 uur relatief grote voorspankrachten in de trossen optreden, worden dan voorkomen.

(ii): Waterspiegeldalingen/stijgingen t.g.v. passerende zeeschepen

Hiervoor geldt in grote lijnen hetzelfde als onder (i). Hierbij dient echter wel bedacht te worden dat de getijbeweging veel langzamer optreedt dan de waterbeweging veroorzaakt door een passerend zeeschip. Dit stelt hoge eisen aan de vertikale flexibiliteit en reaktiesnelheid van een vertikaal vrij bewegende afmeergelegenheid. Indien echter een dergelijke afmeergelegenheid voorhanden zou zijn, zou de hinder door waterspiegeldalingen/rijzingen t.g.v. passerende zeeschepen aanzienlijk afnemen.

(iii): Verhangen en stromingen

Een door een passerend schip t.p.v. de ingang van de haven opgelegde waterspiegeldaling/rijzing zal zich als lange golf in de haven gaan voortplanten. Dit betekent dat zich verhangen over de haven gaan voordoen, waardoor water uit c.q. in gaat stromen (de z.g. ledigings- en vulstromen). T.g.v. deze verhangen en deze stromingen zal een afgemeerd schip zich willen verplaatsen in vooral de lengterichting loodrecht op de Westerschelde. Hierdoor kunnen (in het bijzonder bij veel loos in de trossen) aanzienlijke troskrachten optreden. Naarmate een havenbekken langwerpiger is (langer dan breed) zal dit verschijnsel meer ééndimensionaal zijn. Aangenomen kan worden dat dit in de Diepe haven het geval is. Hierdoor treden stromingen én verhangen van betekenis over de haven vrijwel alleen in lengterichting op. Dat houdt weer in dat waterspiegelvariatiës vanaf de havenmond naar het eind van de Diepe haven toenemen en stromingen afnemen. Derhalve zal men in de praktijk aan de kopse achterzijde van de Diepe haven vrijwel alleen (relatief grote) waterspiegelvariatiës waarnemen. Indien nu afmeergelegenheid voor binnenschepen wordt gekreëerd, op een wijze zoals onder (i) en (ii) hiervoor is aangegeven, langs de achterkant van de Diepe haven, zal de hinder voor de binnenvaart t.g.v. waterbeweging door passerende zeeschepen voor een groot deel voorkomen kunnen worden. Hiertoe zal overigens aanpassing van de achterzijde van de Diepe haven nodig zijn.

Indien dergelijke aanpassingen van en in de haven van Walsoorde gewenst worden, of om andere redenen niet uitvoerbaar zijn, kan nog a navolgende worden gedacht.

Tijdens de meting is vast komen te staan dat op lokatie 1 in de haven schepen het meest stabiel, rustig en veilig liggen afgemeerd zij met trossen van voldoende goede kwaliteit en afmetingen (qua len diameter), die voldoende ver weg worden uitgezet, onder enige voorsp worden afgemeerd. Bij voorkeur zou er op 4 trossen (voortros, voors achterspring en achtertros) moeten worden afgemeerd. In een eerste sch zouden dan trossen de volgende karakteristieken dienen te hebben:

- voldoende rek in de tros ((poly-propyleen/poly-ethyleen);
- diameter ca. $\emptyset$ 100 mm;
- wegzetlengte (afstand bolder schip - bolder oever) minimaal ca 30 m;
- trossen tijdens hoogwaterkentering voorspannen op ca. 20 à 40 tros.

Voorwaarde hierbij is dat t.p.v. lokatie 1 (en eventueel ook overzijde hiervan) op de juiste lokaties een viertal trosvoorspanningen (lieren) komen te staan, waarop tevens globaal de voorspankrac worden afgelezen. Hiermee is het dan mogelijk in de beginfase van afme juiste voorspanning in de trossen aan te brengen en in een later stadi afnemend water het verloop van de troskrachten kritisch te volgen. Doc gelijke relatief simpele oplossingen te realiseren wordt weliswaar d zaak van het probleem niet verholpen, maar worden de gevolgen ervan v belangrijk deel verminderd. Er zou voorkomen dienen te worden dat s meer dan één rij dik afmeren.

6.3 Konklusies

Een mogelijke vermindering van hinderlijke waterbeweging in de van Walsoorden kan worden bereikt door een verandering van de gec (vorm en afmetingen) van haven en haveningang. Uit de hiervoor verricht voeligheidsonderzoeken m.b.v. het computerprogramma "Implic" is geblek door geometrieverandering van de haven winst kan worden geboekt. Om t gedetailleerd invulling te geven is echter nader (model)onderzoek nodi

Andere (model)onderzoeken hebben aangetoond dat een verandering geometrie van de havenmond (het aanbrengen van havenhoofden, pieren,

een gunstig effect kan hebben op de in de haven doordringende hinderlijke waterbeweging. Indien een dergelijke oplossing wenselijk wordt geacht dient ook hiernaar nader (model)onderzoek verricht te worden.

De gevolgen van de hinderlijke waterbeweging, met name bij afgemeerde schepen, kunnen aanzienlijk verminderd worden door de afmeerlokatie te verplaatsen naar overdwars achterin de Diepe haven en de verticale verplaatsingen te laten volgen door een vertikaal vrij verplaatsbare afmeergelegenheid. Veel winst kan worden geboekt door af te meren onder voorspanning (20 à 40 kN) met 4 trossen (voortros, voorspring, achtertros en achterspring) van voldoende lengte (minimaal 20 à 30 meter), diameter (circa 100 mm) en kwaliteit. Voorkomen dient te worden dat schepen op meer dan één rij afmeren.

Er wordt aanbevolen in de nabije toekomst met name te bekijken of door een aangepast afmeerregime de hinder kan worden ingedamd. Oplossingen in dit kader zijn nl. relatief goedkoop, simpel en makkelijk realiseerbaar.

7. KONKLUSIES EN AANBEVELINGEN

7.1 Konklusies

- Het tijdens de meting in november 1987 waargenomen vaargedrag (richting, vaarsnelheid, beladingsgraad, drifthoek en afstand tot verlijn) is representatief voor de aktuele situatie op de Westers t.p.v. Walsoorden.
- De verdeling van de beladingstoestand over de vaarrichting is als volgt:

	<u>opvaart</u>	<u>afvaart</u>	<u>totaal</u>
<u>geladen</u> :	38%	26%	64%
<u>ongeladen</u> :	25%	11%	36%
<u>Totaal</u> :	63%	37%	100%

Uit het bovenstaande volgt dat de uit het vooronderzoek naar voren gekomen meest hinder veroorzakende categorie zeeschepen (nl. de g opvaart) 38% uitmaakt van het totaal aantal waargenomen zeeschep. Deze categorie heeft het onderzoek betrekking gehad.

- De verdeling van de gemiddeld waargenomen vaarsnelheden over beladingstoestand en vaarrichting is als volgt:

opvaart : 6,2 m/s

afvaart : 5,2 m/s

geladen : 5,6 m/s

ongeladen: 5,7 m/s

Het grootste deel van de vaart vindt tijdens vloed plaats (tussen GHW en GHW) (Vaarsnelheden t.o.v. aardvast assenstelsel).

- De gemiddelde afstand tot de oeverlijn bedraagt in opvaart 298 m en in afvaart 433 m.
- Uit de meting is afgeleid dat de in de haven van Walsoorden door passerende zeeschepen opgewekte sekundaire golven kunnen worden berekend door de relatie:

$$\left(\frac{H_{s,max}}{h} \right) \approx 11,40 \cdot \left(\frac{AM}{Ac} \right) \cdot \left(\frac{V_s}{\sqrt{gh}} \right) \cdot \left(\frac{Y}{h} \right)^{-1} + 0,10 \cdot 10^{-2}$$

Hierin is $H_{s,max}$ de maximale amplitude van de sekundaire golven.

- Tevens is afgeleid dat de door passerende zeeschepen veroorzaakte waterspiegeldalingen/rijzingen kunnen worden benaderd door de relatie:

$$\left(\frac{Z_{\max}}{h} \right) \approx 8,30 \cdot \left(\frac{A_M}{A_C} \right) \cdot \left(\frac{V_S}{\sqrt{gh}} \right) \cdot \left(\frac{Y}{h} \right)^{-1} + X \cdot 10^{-2}$$

X = 0,05 aan het begin van de Diepe haven

X = 0,13 aan het eind van de Diepe haven

Hierin is $Z_{\max}$ de maximale waterspiegeldaling c.q. -rijzing.

- Tenslotte is afgeleid dat de tijdens passage van zeeschepen over de Diepe haven optredende verhangen in de waterspiegel kunnen worden benaderd door de relatie:

$$\left(\frac{\Delta H_{\max}}{L_{\text{lokl}}} \right) \approx 1,50 \cdot \left(\frac{A_M}{A_C} \right) \cdot \left(\frac{V_S}{\sqrt{gh}} \right) \cdot \left(\frac{Y}{h} \right)^{-1} - 1,00 \cdot 10^{-4}$$

Hierin is $H_{\max}$ het maximaal optredende waterstandsverschil over de Diepe haven.

Bovengenoemde relaties zijn geldig voor $0,0 \leq \left(\frac{A_M}{A_C} \right) \cdot \left(\frac{V_S}{\sqrt{gh}} \right) \cdot \left(\frac{Y}{h} \right)^{-1} \leq 8,0 \cdot 10^{-4}$.

- Uit de meting is gebleken dat door de optredende verhangen over de Diepe haven en de tijdens het vullen c.q. ledigen van de haven optredende stromingen klein zijn. De maximale stroomsnelheid die gemeten is bedraagt 0,36 m/s. In veel gevallen is de maximale gemeten stroomsnelheid kleiner dan $\pm 0,05$ m/s. De maximum gemeten waterspiegelvariatiën in de Diepe Haven zijn 0,35 m.
- De tijdens passages van zeeschepen bij afgemeerde binnenschepen gemeten troskrachten zijn klein (tussen de 0 en 4,5 kN). Tijdens verhalen en gedurende een deel van de getijbeweging zijn bij de afgemeerde binnenschepen resp. 25 à 50 en 5,0 maal zo grote troskrachten gemeten.
- De binnenschepen die onder voorspanning afmeren met het juiste aantal voldoende trossen van voldoende lengte ondervinden over het algemeen de minste hinder van de door passerende zeeschepen veroorzaakte waterbewegingen en hebben de meest stabiele ligging.
- Uit de meting naar troskrachten is afgeleid dat er tussen gemeten troskrachten en de parameters nat grootspantoppervlak, vaarsnelheid en af-

stand tot de oeverlijn voor 0,0 $\leq \left(\frac{A_M}{A_C} \right) \cdot \left(\frac{v_s}{\sqrt{gh}} \right) \cdot \left(\frac{Y}{h} \right)^{-1}$

$8,0 \cdot 10^{-4}$ een lineair verband bestaat. Aangezien slechts weinig tingen zijn verricht, heeft de gevonden relatie een indicatief ter.

- Er mag worden verwacht dat de door passerende zeeschepen veroorzaakte waterbeweging in de haven van Walsoorden na verdieping van de IJssel-schelde met maximaal 10% zal toenemen.

Voor wat betreft de toestand in de haven zal dit niet tot een vaardbare toename van de hinder leiden. De bij deze toename van de waterbeweging bij afgemeerde binnenschepen optredende troskrachten veel lager zijn dan optredend bij een verhalend schip.

- Een sterke reductie van de ondervonden hinder van de waterbeweging kan worden bereikt door afmeerlokatie en afmeerregime te wijzigen. De meeste winst kan hierbij worden bereikt door de frekwent bezochte binnenschepen te laten afmeren aan een vertikaal vrij bewegende afmeer gelegenheid op de lange kant van de haven i.p.v. op lokatie 1. Hiervoor dient hierbij voorkeur 4 trossen te gebruiken en onder voorspanning te meren met trossen van voldoende lengte en kwaliteit. Hiertoe moet de kopse kant van de Diepe haven verbreed te worden.
- Een reductie van de ondervonden hinder van de waterbeweging kan ook bereikt worden door de huidige afmeerlokaties in de Diepe haven ongewijzigd te laten en alleen het afmeerregime te wijzigen. Hiertoe zou op lokatie 1 in de Diepe haven minimaal een viertal trosvoorspanapparaten moeten worden opgesteld, waarop tevens de voorspankracht af te meten zou moeten zijn. Afmerende binnenschepen zouden verplicht gesteld te worden met 4 trossen (voortros, voorspring, achtertros, achterspring) van voldoende lengte aan deze apparaten onder voorspanning te meren. Bij voorkeur zouden poly-propyleen of poly-ethyleen trossen van 100 mm van minimaal 20 à 30 meter lengte en goede kwaliteit moeten worden gebruikt. Uitgangspunt is hierbij dat rond hoogwater op de trossen 20 à 40 kN voorspanning wordt aangebracht. Op deze wijze wordt de kans op trosbreuk door waterbeweging t.g.v. passerende zeeschepen sterk af en wordt de ligging van de afgemeerde binnenschepen sta-

7.2 Aanbevelingen

Naar aanleiding van de meting naar de (hinderlijke) waterbeweging in de haven van Walsoorden t.g.v. passerende zeeschepen wordt aanbevolen om:

- Binnenvaartschepen bij voorkeur te laten afmeren aan de kopse kant van de Diepe haven i.p.v. op lokatie 1.
- Vertikaal vrij bewegende afmeergelegenheden te kreëren in de Diepe haven.
- Alle binnenschepen te laten afmeren aan minimaal 4 onder voorspanning gebrachte trossen van voldoende lengte en kwaliteit.
- De passerende zeevaart ná verdieping van de Westerschelde en uitgaande van een verbeterd afmeerregime in de Diepe haven géén extra restrikties op te leggen.

LITERATUUR

- [1] "Voorhaven Hansweert, Stroombeeld en sedimentatie-onderzoek",
modelonderzoek,
Waterloopkundig Laboratorium, M1642,
april 1981.
- [2] "Taludverdediging Nauw van Bath, Aanval van waterbeweging t.g.v.
scheepvaart",
Verslag onderzoek,
Waterloopkundig Laboratorium, R840,
december 1974.
- [3] v.d. Leer, D.,
"Scheepvaart Reglement Westerschelde",
1985.
- [4] "Bevaarbaarheid Westerschelde in 1980",
Direktie Waterhuishouding en Waterbeweging,
Nota WWK2-81.V001,
december 1981.
- [5] "Verdieping Westerschelde",
Rijkswaterstaat, dienst Verkeerskunde, Hoofdafdeling Scheepvaart,
Nota's S 80.20.00 t/m S 80.20.06,
1982 t/m 1984.
- [6] "Implic Gebruikersdocumentatie",
Dienst Informatieverwerking,
Rijswijk, oktober 1987.
- [7] "Berekening golfdoordringing in een voorhaven aan een rivier als
van passerende duweenheden", (koncept),
Verslag berekeningen,
Waterloopkundig Laboratorium, Q575.20,
april 1987.
- [8] "Aantasting van dwarsprofielen in Vaarwegen",
Waterloopkundig Laboratorium, M1115,
Diverse rapporten,
1972 t/m 1987.

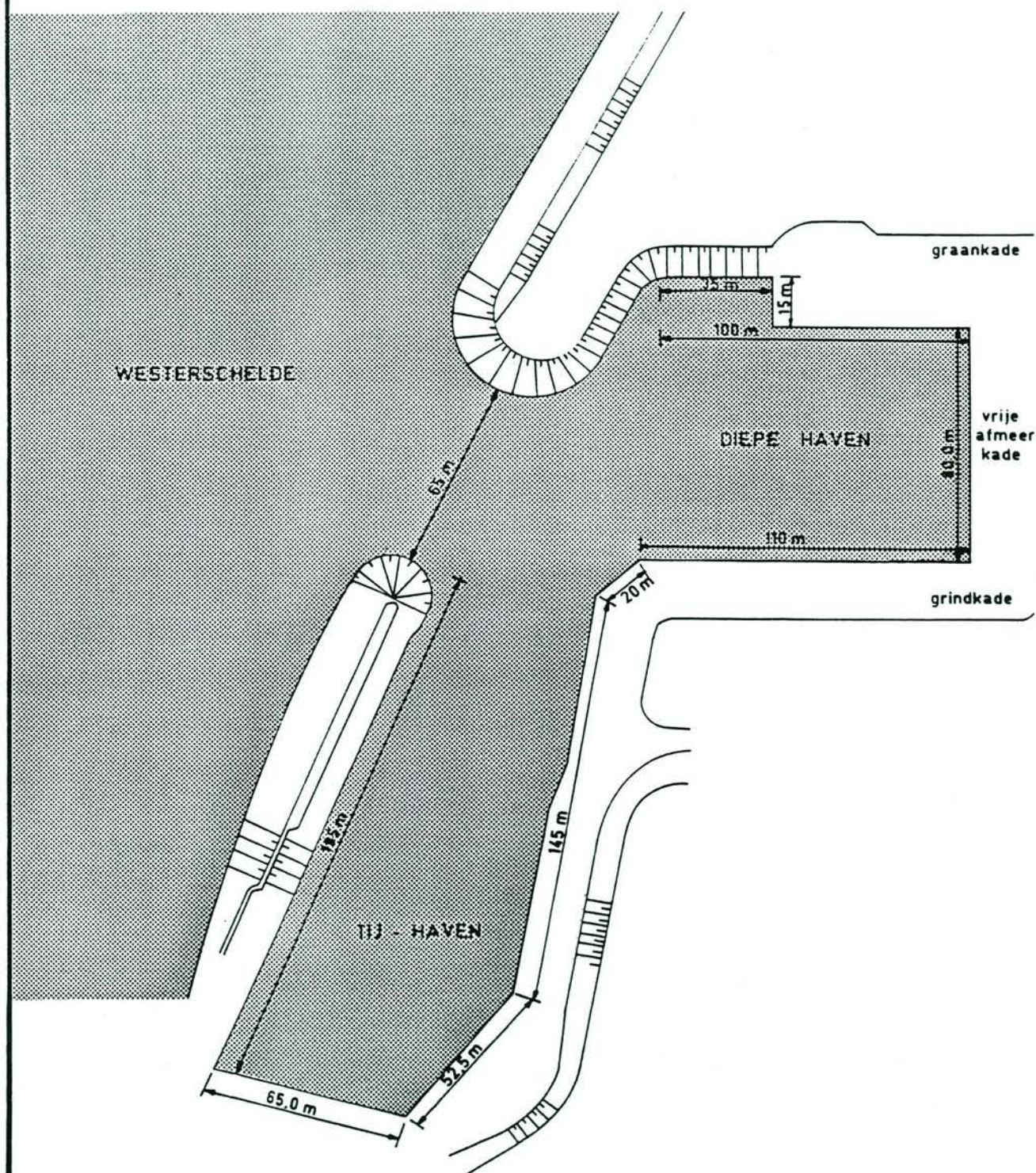
LITERATUUR (vervolg)

- [9] "Shore Protections Manual",
Volume I, II en III,
U.S. Army Coastal Engineering Research Center,
Virginia, 1977.
- [10] "Meetverslag zuigingshinder en hinderlijke waterbeweging in de haven
van Walsoorden",
Rijkswaterstaat, dienst Verkeerskunde, Hoofdafdeling Scheepvaart,
Nota S 87.117,
Dordrecht, januari 1988.
- [11] "Fasering verdieping Westerschelde",
Rijkswaterstaat, dienst Verkeerskunde, Hoofdafdeling Scheepvaart,
Nota S 87.143,
Dordrecht, februari 1988.
- [12] "Nota Verdieping Westerschelde",
Programma 48'/43',
Technische Schelde Commissie,
Middelburg, 15 juni 1984.

		OPVAART	AFVAART	TOTAAL
NOV '87	geladen	48 (38%)	33 (26%)	81 (64%)
	ongeladen	31 (25%)	14 (11%)	45 (36%)
TOTAAL		79 (63%)	47 (37%)	126 (100%)
FEB '88	geladen	25 (39%)	17 (27%)	42 (66%)
	ongeladen	13 (20%)	9 (14%)	22 (34%)
TOTAAL		38 (59%)	26 (41%)	64 (100%)

Totaal waargenomen scheepsbewegingen 190
 (Percentages in aantallen per totaal van een periode)

TABEL 1 Aantallen waargenomen scheepsbewegingen op de Westerschelde nabij Walsoorden in de periodes 5-11'87 t/m 11-11'87 en 17-2 '88 t/m 18-2'88 betreffende vaarrichting en beladingstoestand.



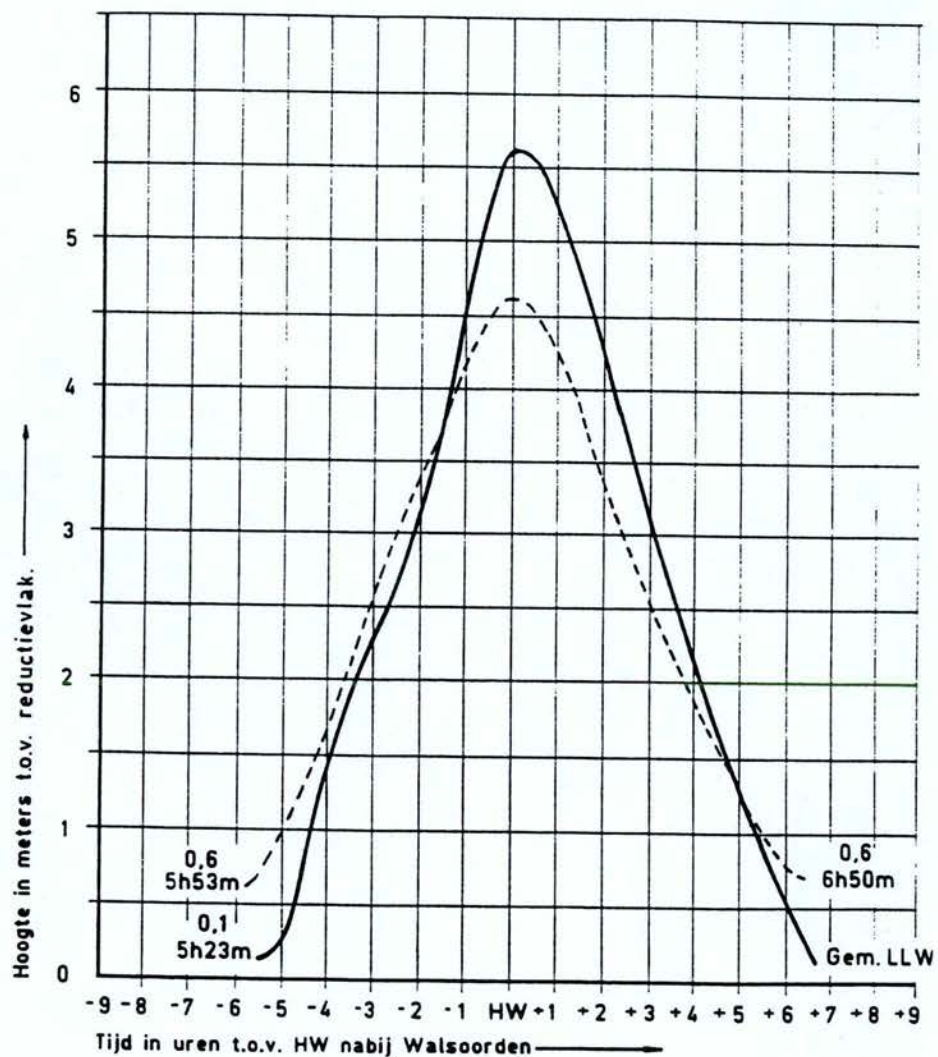
HAVEN VAN WALSOORDEN
OVERZICHT

Fig. 1

SCHAAL: 1 : 2000

RIJKSWATERSTAAT
DIENST VERKEERSKUNDE
HOOFDAFDELING SCHEEPVAART

get.	gez.	Nr.S 87.117
4.5:88		
R.R.		



GETIJBEGEWING NABIJ HAVEN VAN WALSOORDEN

RIJKSWATERSTAAT
DIENST VERKEERSKUNDE
HOOFDAFDELING SCHEEPVAART

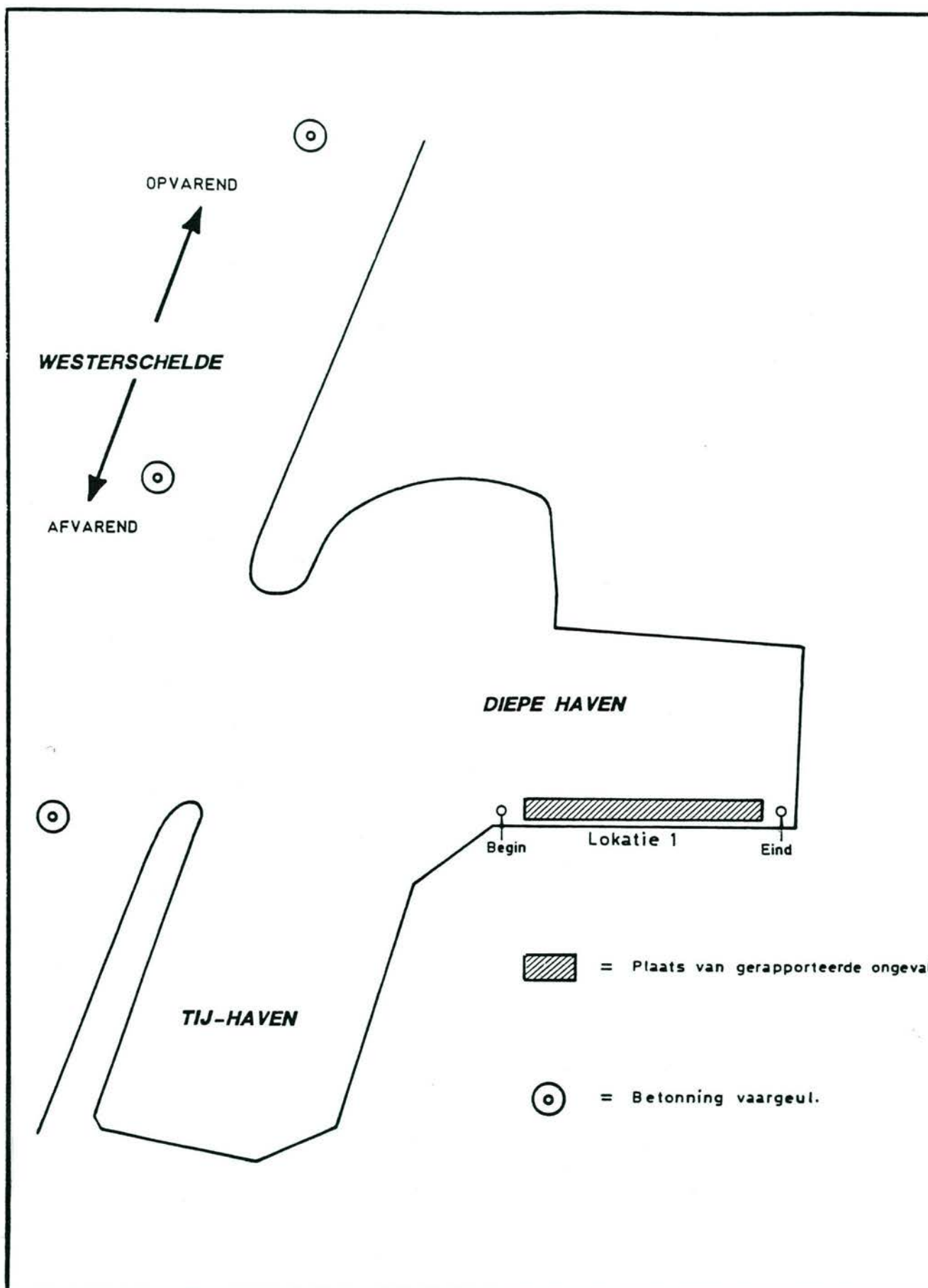
SCHAAL:

get. gez.

12-4'88

J.P.

Nr. S



OVERZICHT LOKATIE GERAPPORTEERDE ONGEVALLEN

Fig. 3

RIJKSWATERSTAAT
DIENST VERKEERSKUNDE
HOOFDAFDELING SCHEEPVAART

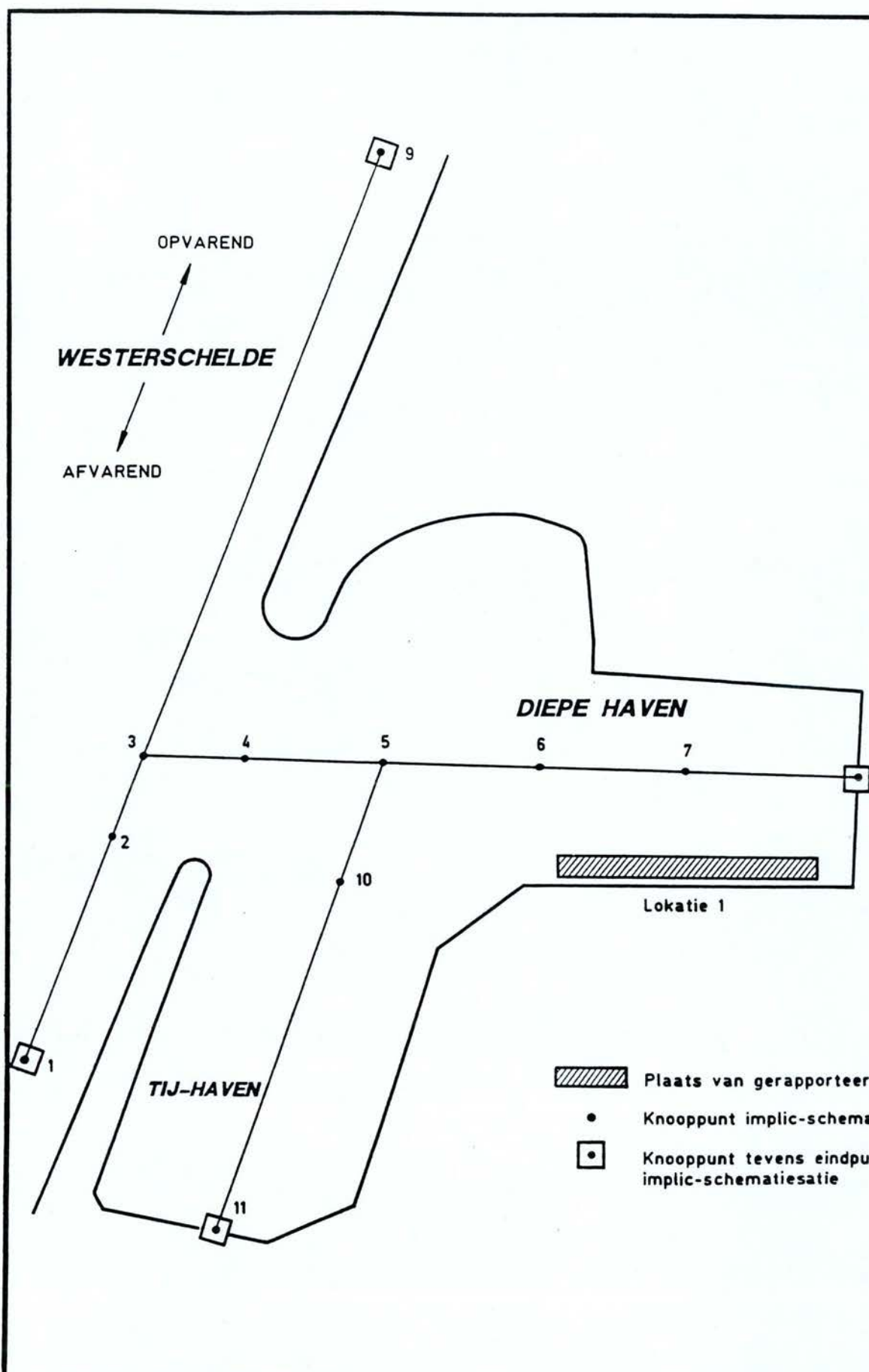
SCHAAL:

get. gez.

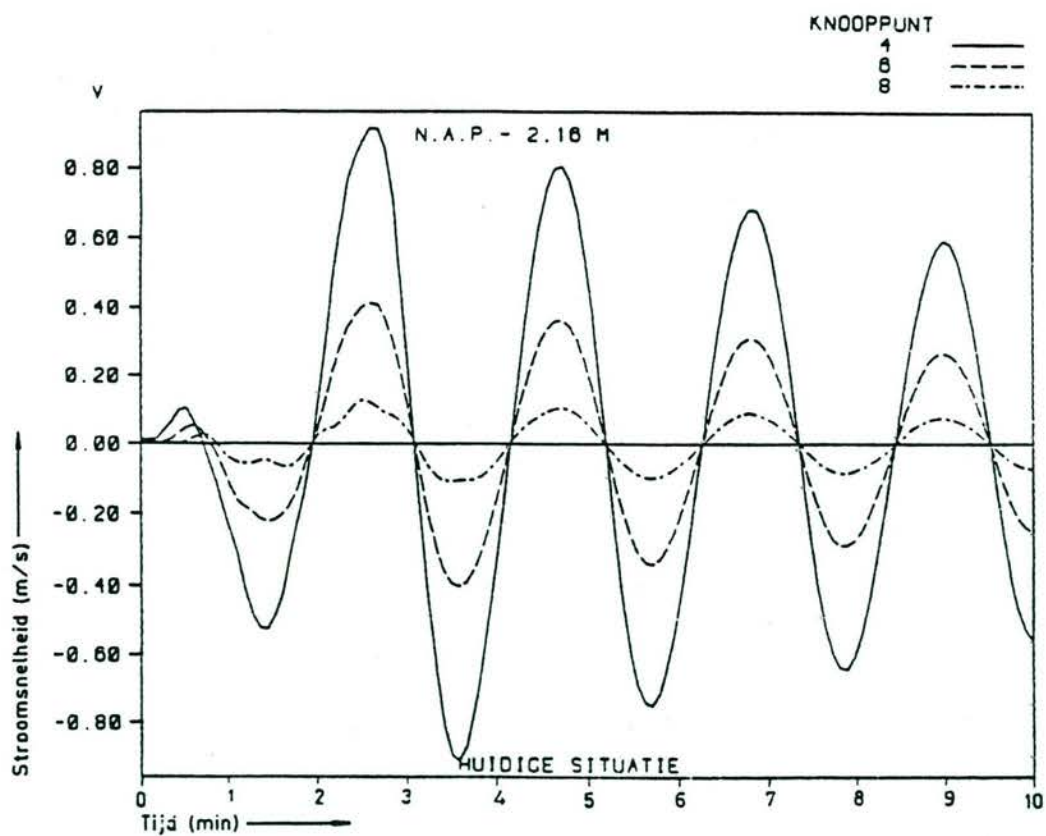
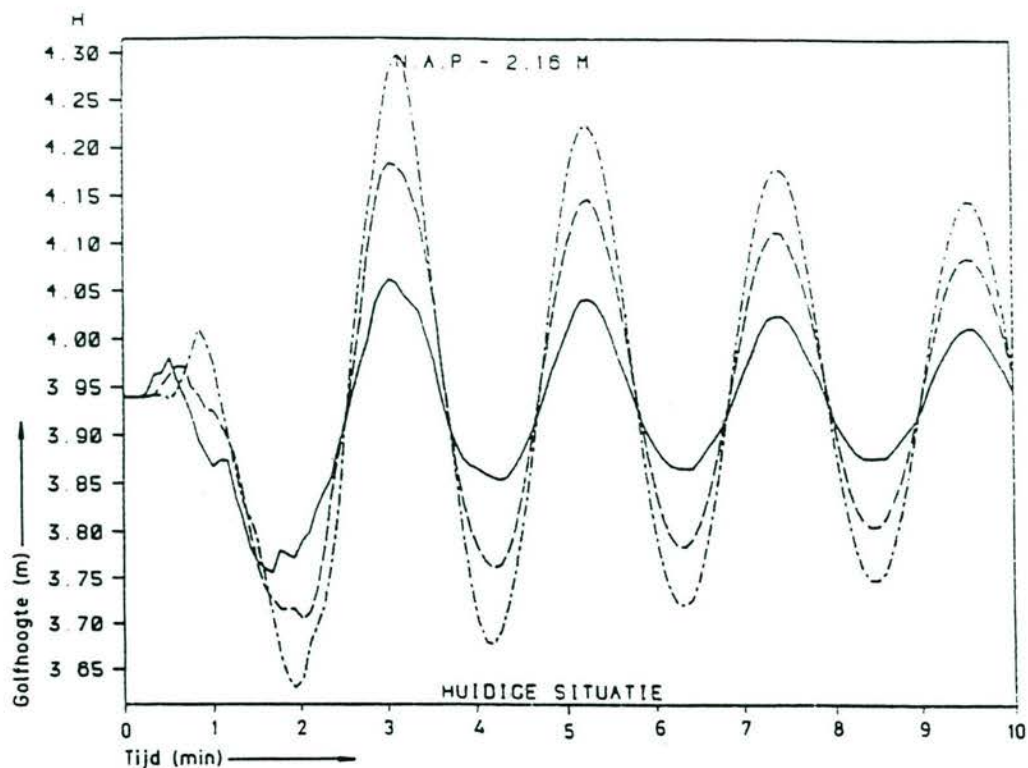
13-4'88

J.P.

Nr. S 87.117



HAVEN VAN WALSOORDEN SCHEMATISATIE T.B.V. IMPLIC			SCHAAL:	
RIJKSWATERSTAAT DIENST VERKEERSKUNDE HOOFDAFDELING SCHEEPVAART			get.	gez.
			12-4'88	Nr. 5
			J.P.	



Gemiddeld laag water

BENADERING DOORDRINGING WATERBEWEGING IN DE HAVEN VAN WALSOORDEN

M.B.V. HET "IMPLIC" - COMPUTER PROGRAMMA.

Fig. 5

SCHAAL:

get.

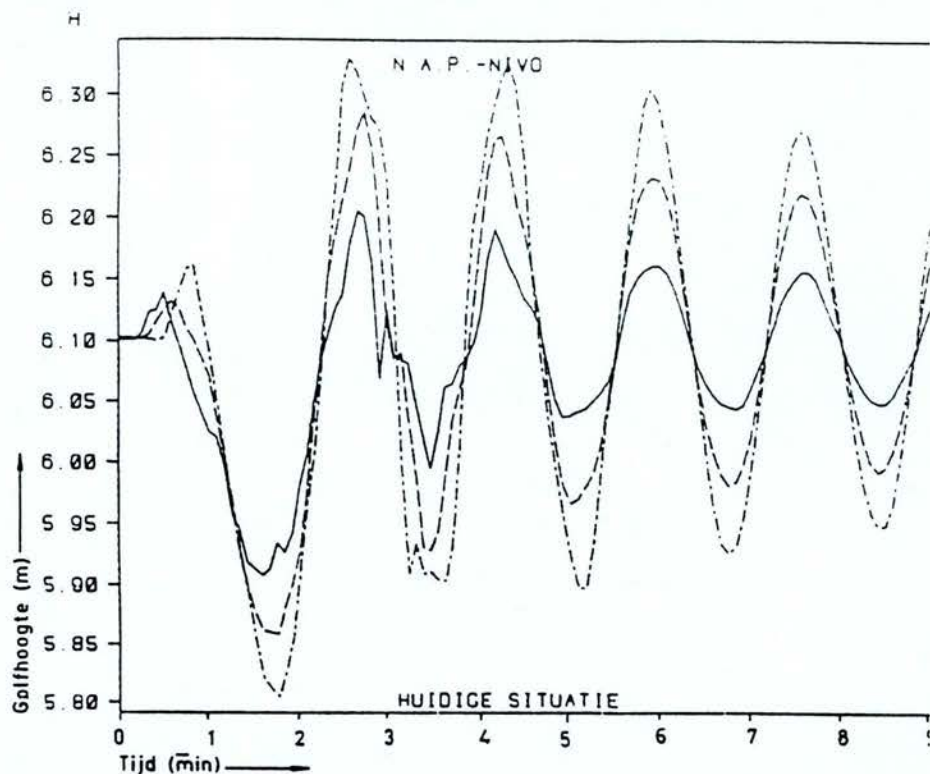
gez.

17.5.88

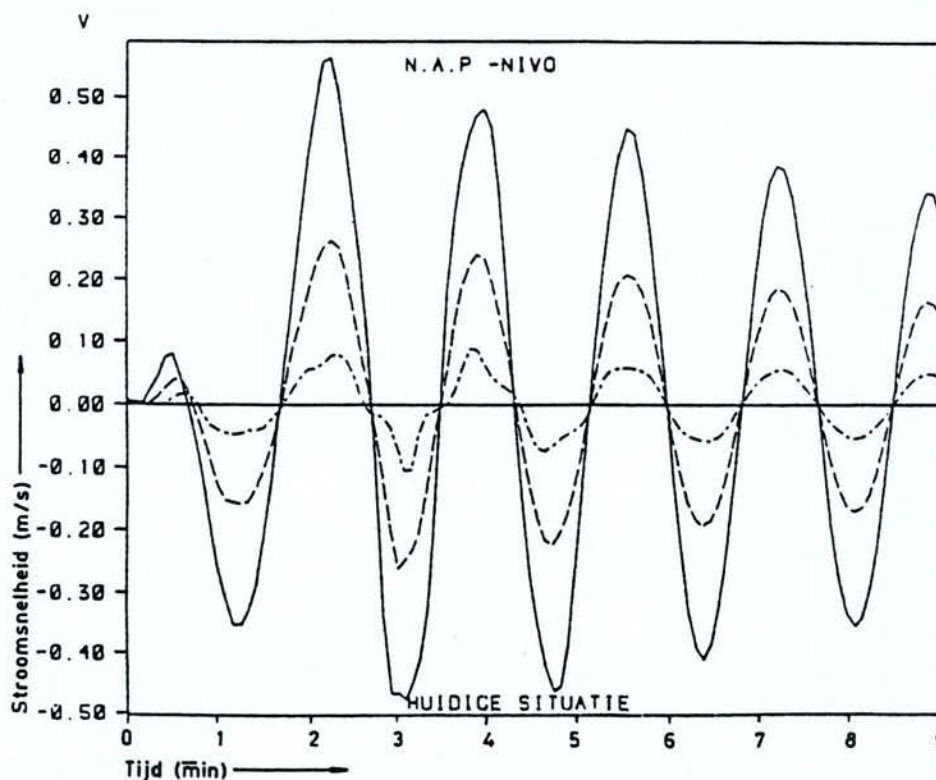
R.R.

Nr. S 87.117

RIJKSWATERSTAAT
 DIENST VERKEERSKUNDE
 HOOFDAFDELING SCHEEPVAART



KNOOPPUN
4
6
8



gemid

BENADERING DOORDRINGING WATERBEWEGING IN DE HAVEN VAN WALSOORDEN

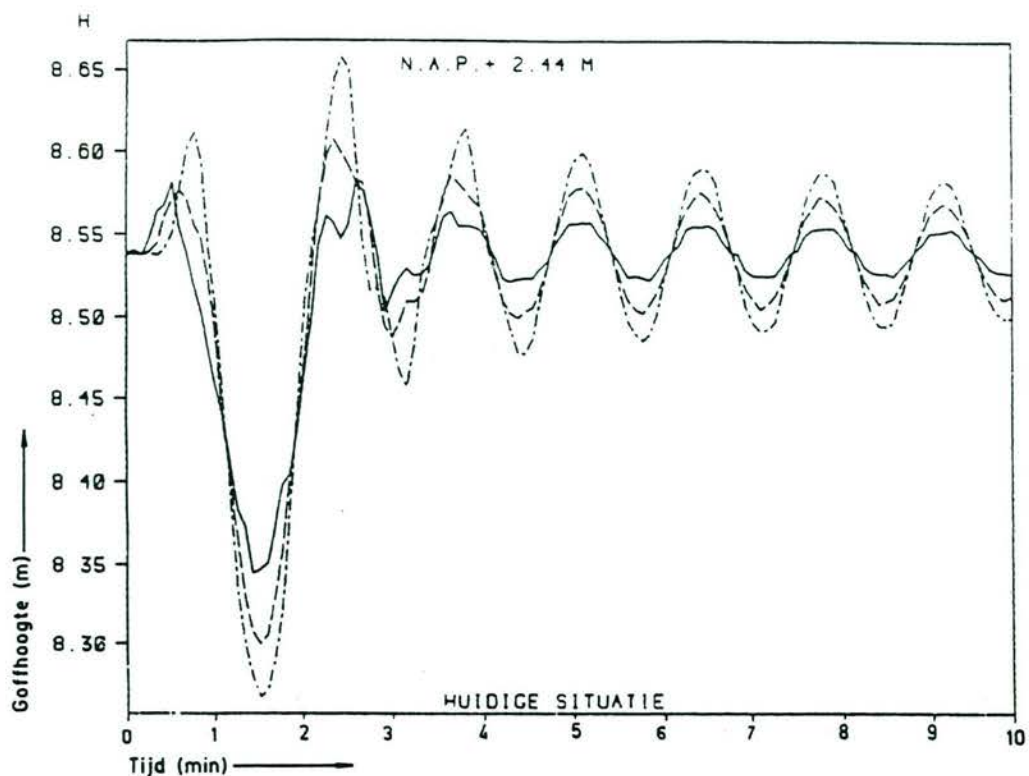
M.B.V. HET "IMPLIC" - COMPUTER PROGRAMMA

RIJKSWATERSTAAT
DIENST VERKEERSKUNDE
HOOFDAFDELING SCHEEPVAART

SCHAAL:

get.	gez.
17.5:88	
R.R.	

Nr. S

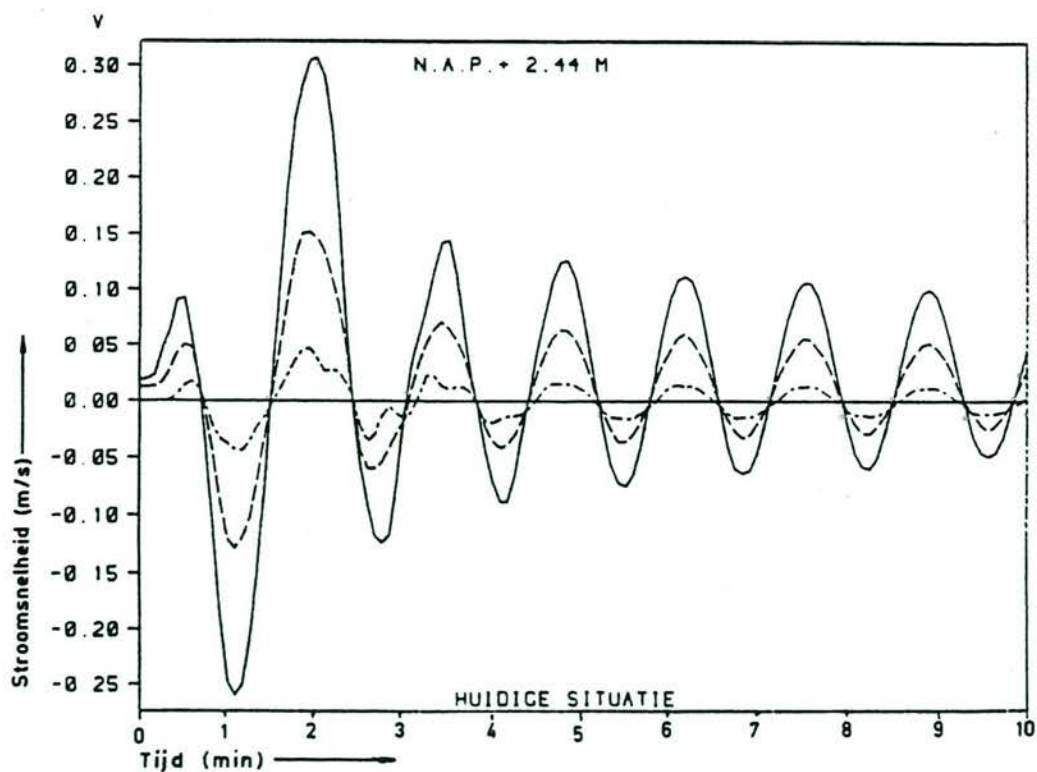


KNOOPPUNT

4 ———

6 - - - -

8 - . - .



Gemiddeld hoog water

BENADERING DOORDRINGING WATERBEWEGING IN DE HAVEN VAN WALSOORDEN

M.B.V. HET "IMPLIC" - COMPUTER PROGRAMMA

Fig. 7

SCHAAL:

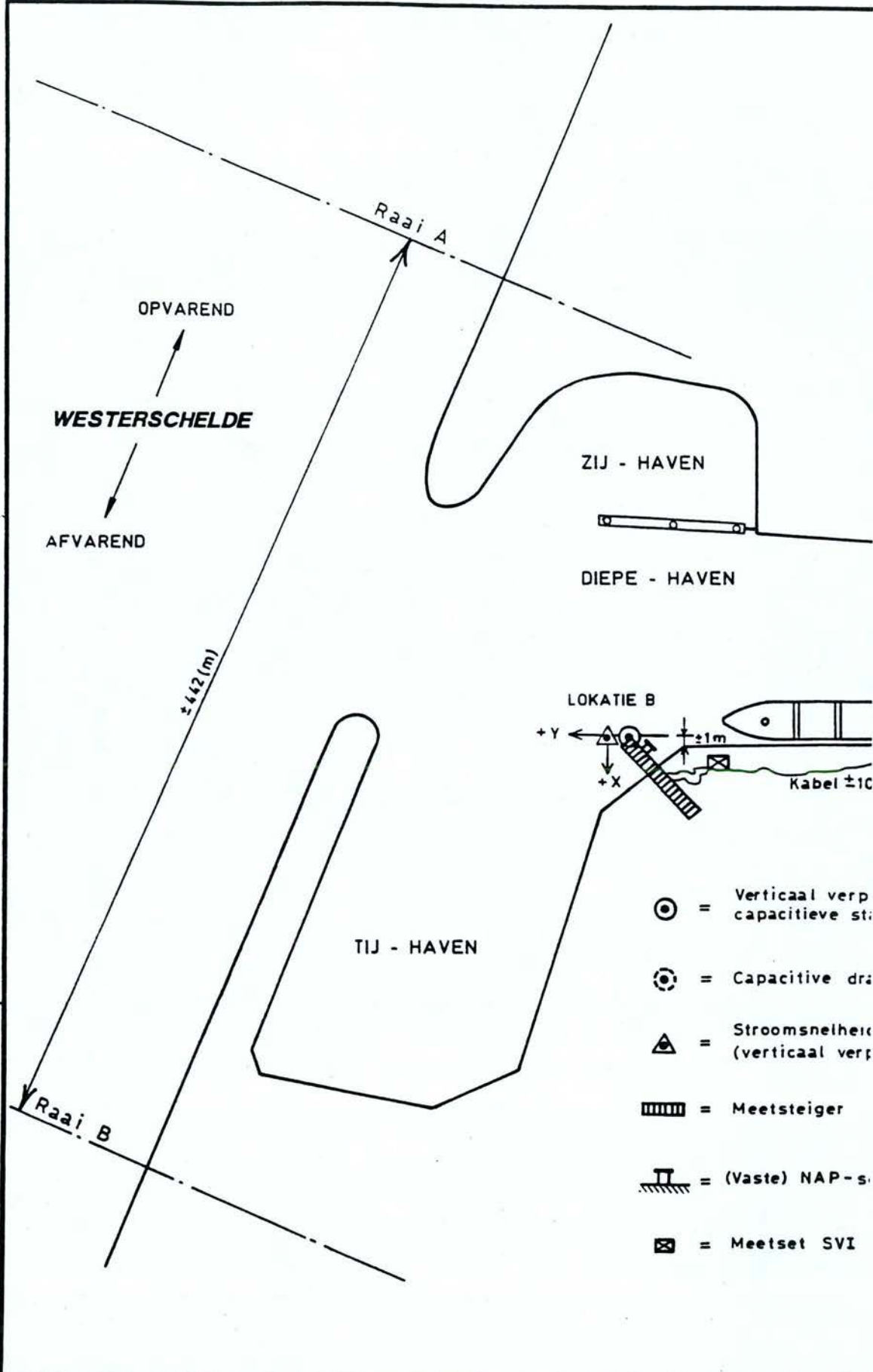
get. gez.

17.5.88

R.R.

Nr. S 87.117

RIJKSWATERSTAAT
DIENST VERKEERSKUNDE
HOOFDAFDELING SCHEEPVAART

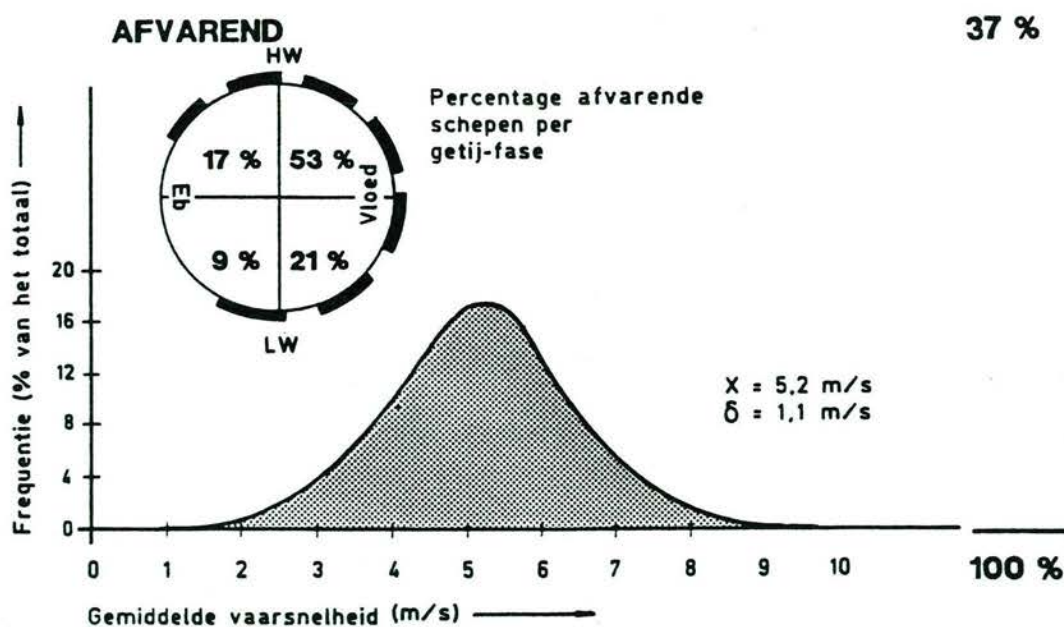
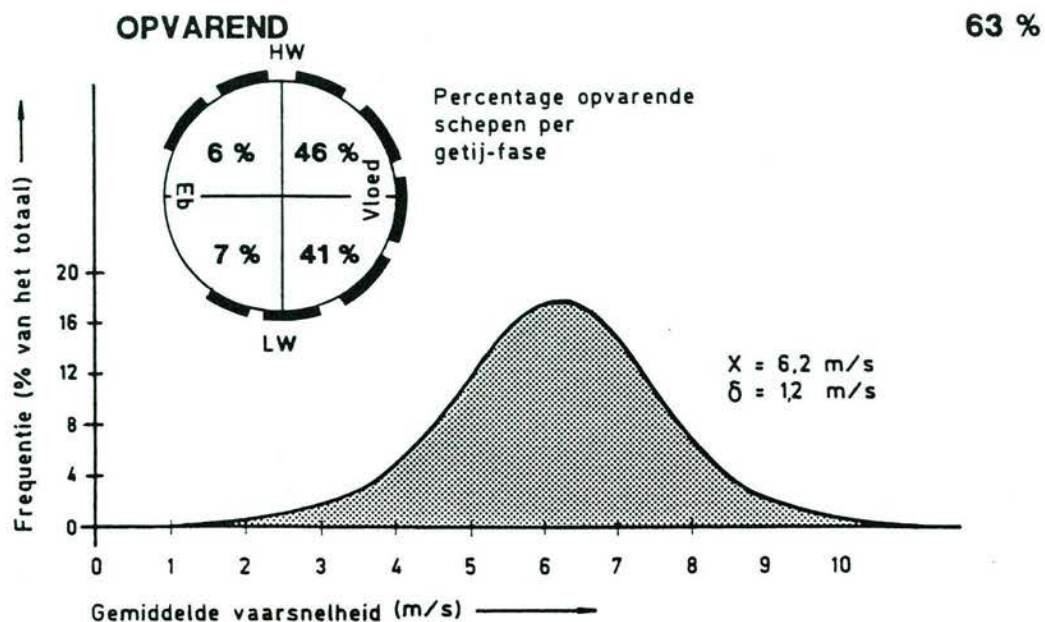


- ⊙ = Verticaal verp
capacitieve st:
- ⊙ = Capacitive dra
- △ = Stroomsnelheic
(verticaal verp
- ▤ = Meetsteiger
- ▤ = (Vaste) NAP-s.
- ⊠ = Meetset SVI

MEETOPSTELLING HAVEN WALSOORDEN

RIJKSWATERSTAAT
DIENST VERKEERSKUNDE
HOOFDAFDELING SCHEEPVAART

SCHAAL:		Nr.
get.	gez.	
10.8.87		
R.R.		



Waarnemingen: november 1987

Vaarsnelheden: t.o.v. aardvast assenstelsel

— — — — — totale waargenomen periode

FREQUENTIEVERDELING VAARSNELHEDEN ZEESCHEPEN
OPVAREND EN AFVAREND

Fig. 9

SCHAAL:

get.

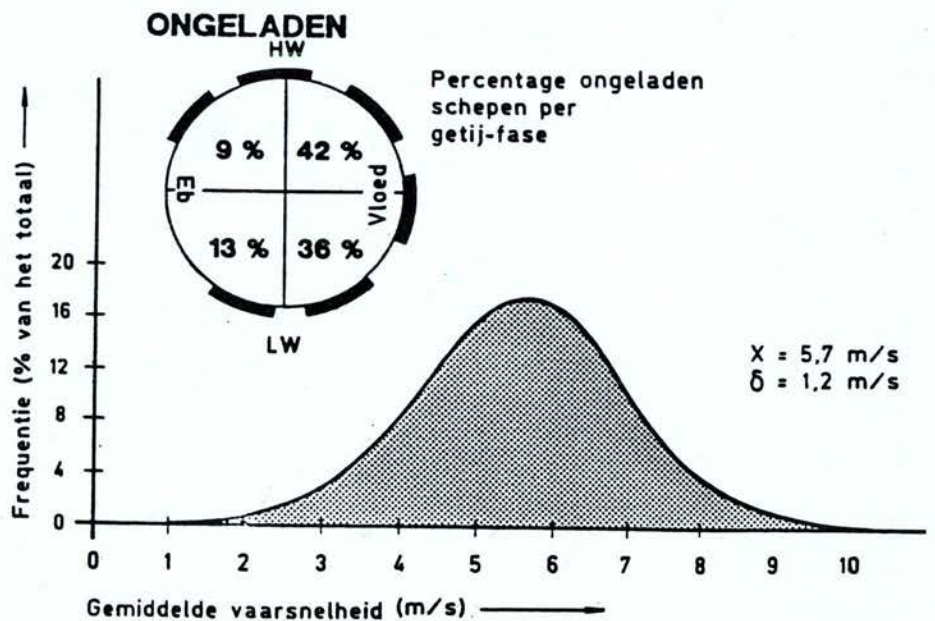
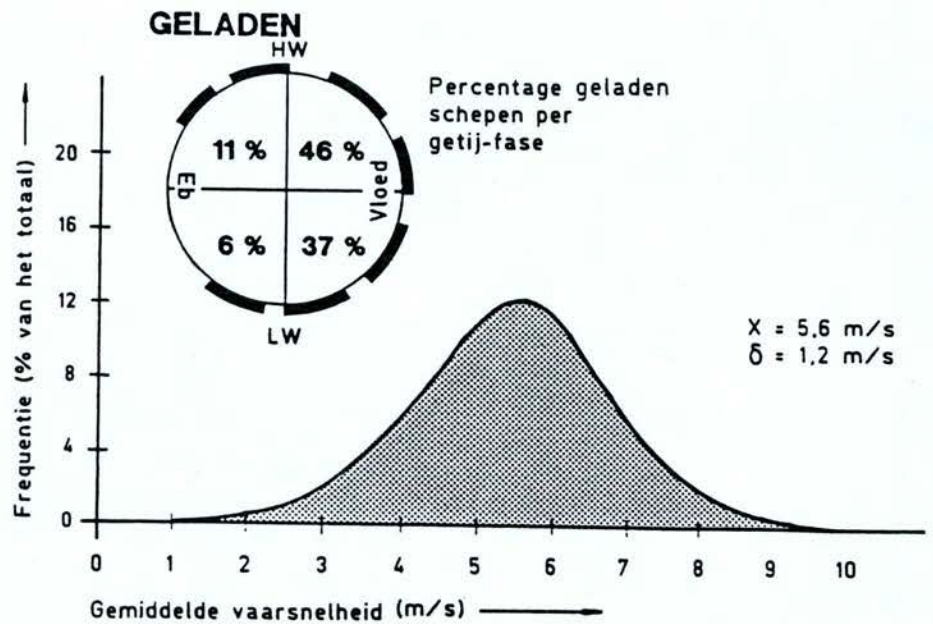
gez.

12-4'88

J. P.

Nr. S 87.117

RIJKSWATERSTAAT
DIENST VERKEERSKUNDE
HOOFDAFDELING SCHEEPVAART



Waarnemingen: november 1987

Vaarsnelheden: t.o.v. aardvast assenstelsel

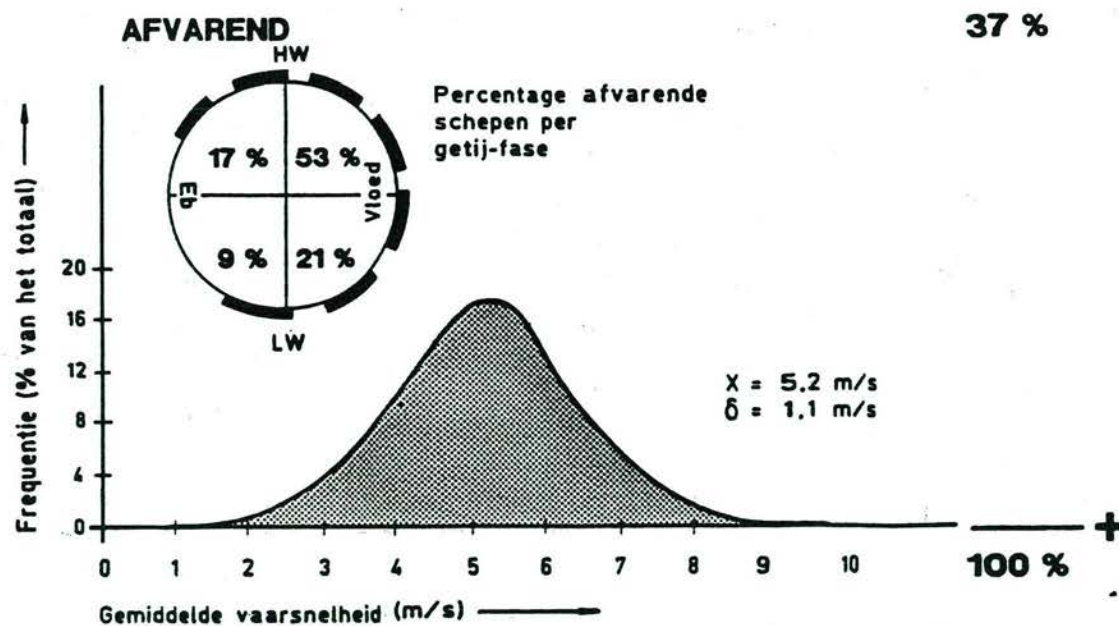
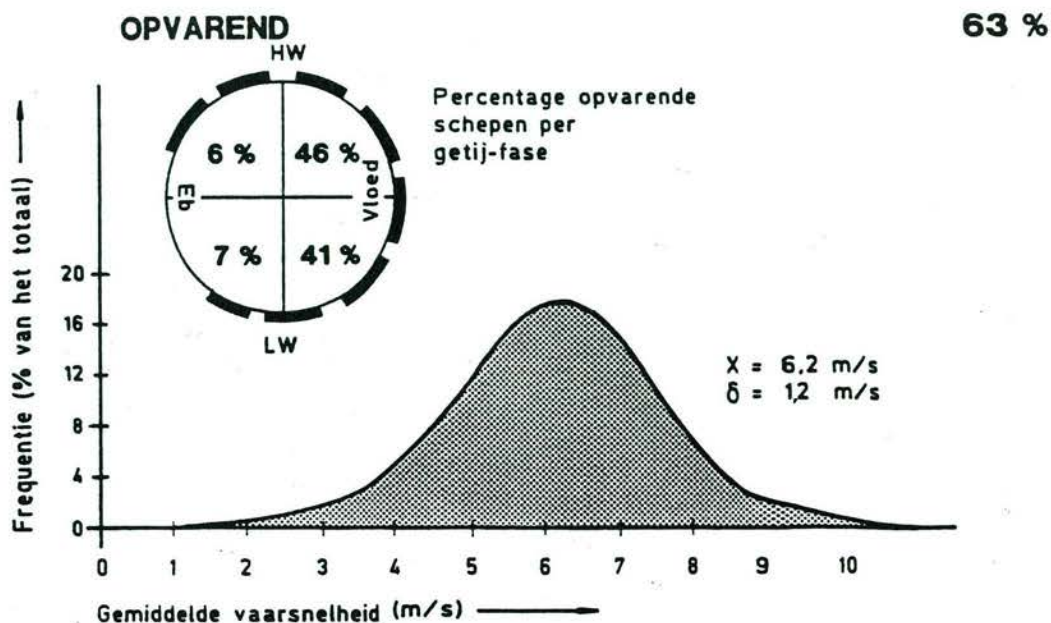
— — — — — totale waargenomen periode

FREQUENTIEVERDELING VAARSNELHEDEN ZEESCHEPEN
GELADEN EN ONGELADEN

RIJKSWATERSTAAT
DIENST VERKEERSKUNDE
HOOFDAFDELING SCHEEPVAART

SCHAAL:

get.	gez.	Nr.
12-4'88		
J. P.		



Waarnemingen: november 1987

Vaarsnelheden: t.o.v. aardvast assenstelsel

— — — — — totale waargenomen periode

FREQUENTIEVERDELING VAARSNELHEDEN ZEESCHEPEN
OPVAREND EN AFVAREND

Fig. 9

SCHAAL:

get.

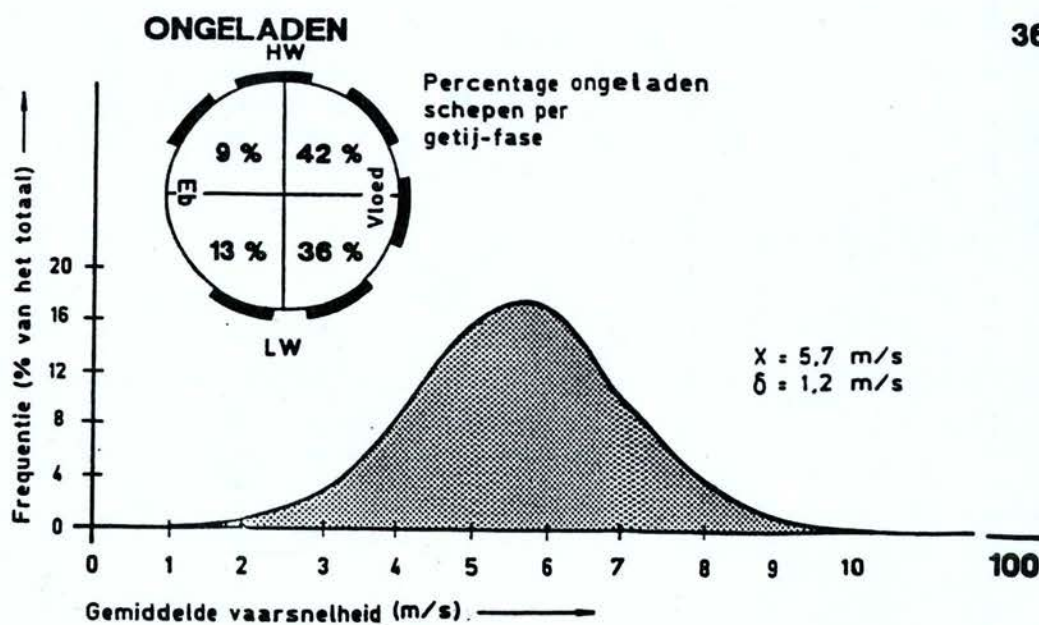
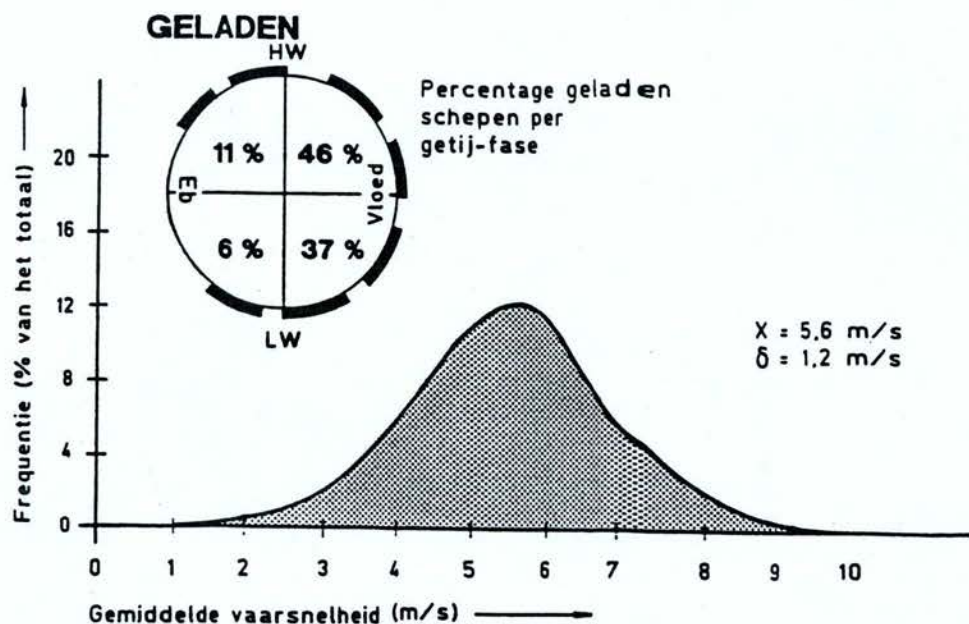
gez.

12-4'88

Nr. S 87.117

J.P.

RIJSWATERSTAAT
DIENST VERKEERSKUNDE
HOOFDAFDELING SCHEEPVAART



Waarnemingen: november 1987

Vaarsnelheden: t.o.v. aardvast assenstelsel

— — — — — totale waargenomen periode

FREQUENTIEVERDELING VAARSNELHEDEN ZEESCHEPEN
 GELADEN EN ONGELADEN

Fig. 10

SCHAAL:

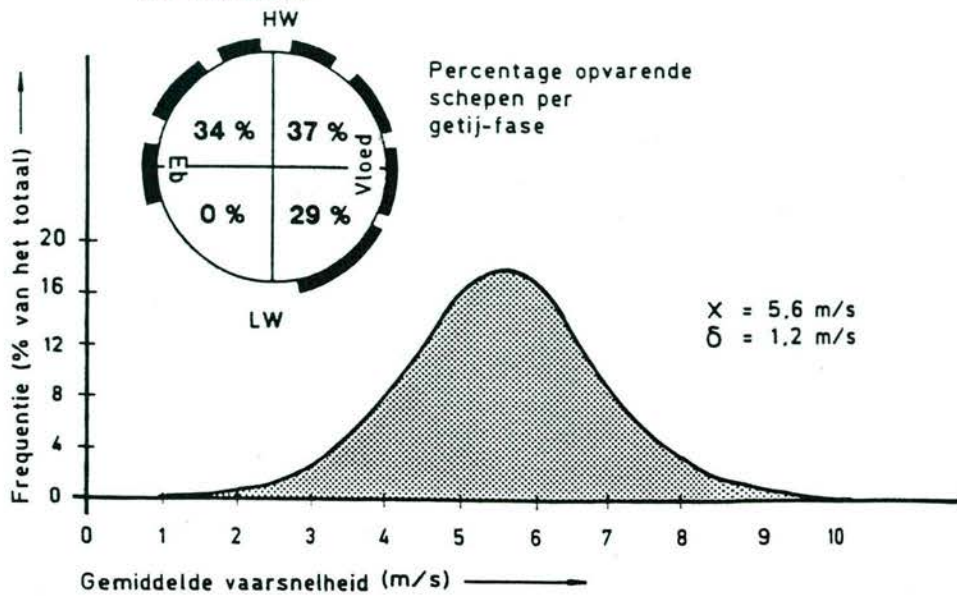
RIJKSWATERSTAAT
 DIENST VERKEERSKUNDE
 HOOFDAFDELING SCHEEPVAART

get.	gez.
12-4'88	
J.P.	

Nr. S 87.117

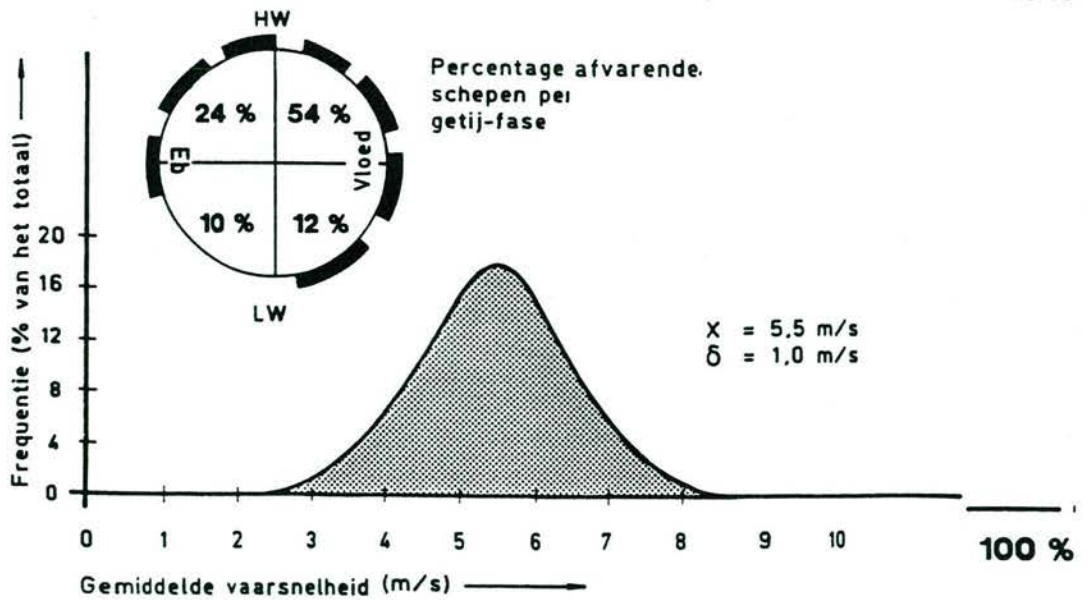
OPVAREND

59 9



AFVAREND

41 %



Waarnemingen: februari 1988 (verdekt)

Vaarsnelheden: t.o.v. aardvast assenstelsel

— — — — —, totale waargenomen periode

FREQUENTIEVERDELING VAARSNELHEDEN ZEESCHEPEN
OPVAREND EN AFVAREND

Fig. 11

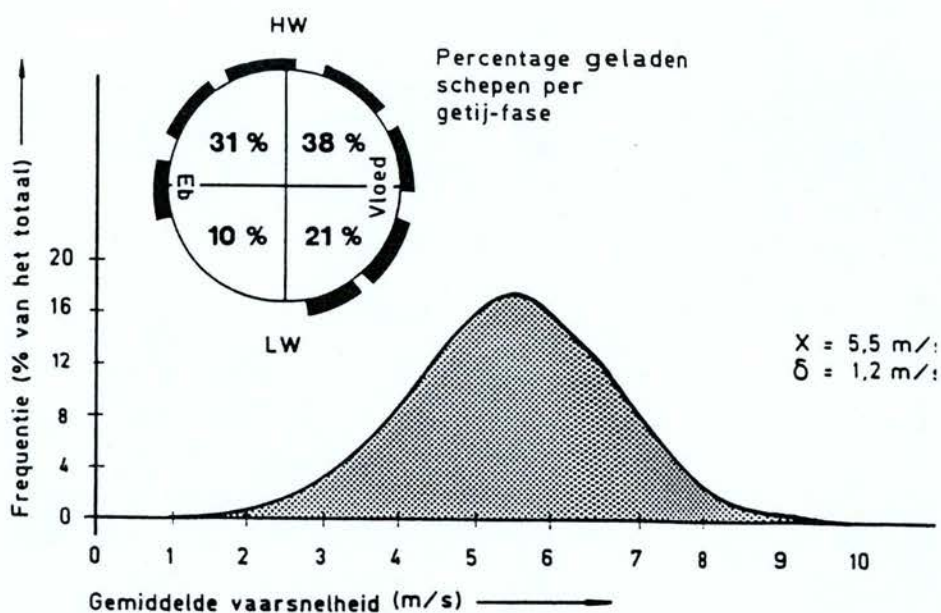
SCHAAL:

get.	gez.
12-4	88
J. P.	

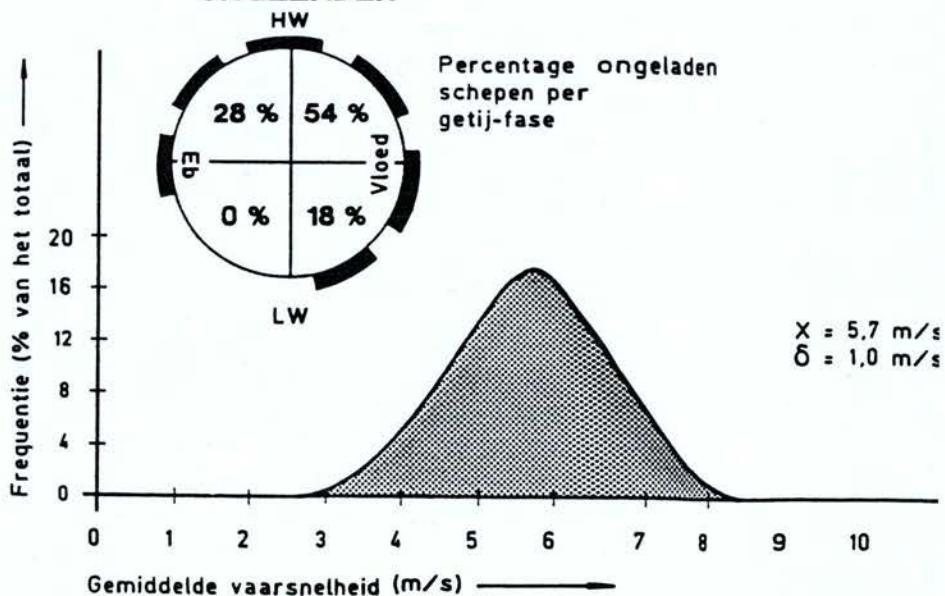
Nr. S 87.117

RIJKSWATERSTAAT
DIENST VERKEERSKUNDE
HOOFDAFDELING SCHEEPVAART

GELADEN



ONGELADEN



Waarnemingen: februari 1988 (verdekt)

Vaarsnelheden: t.o.v. aardvast assenstelsel

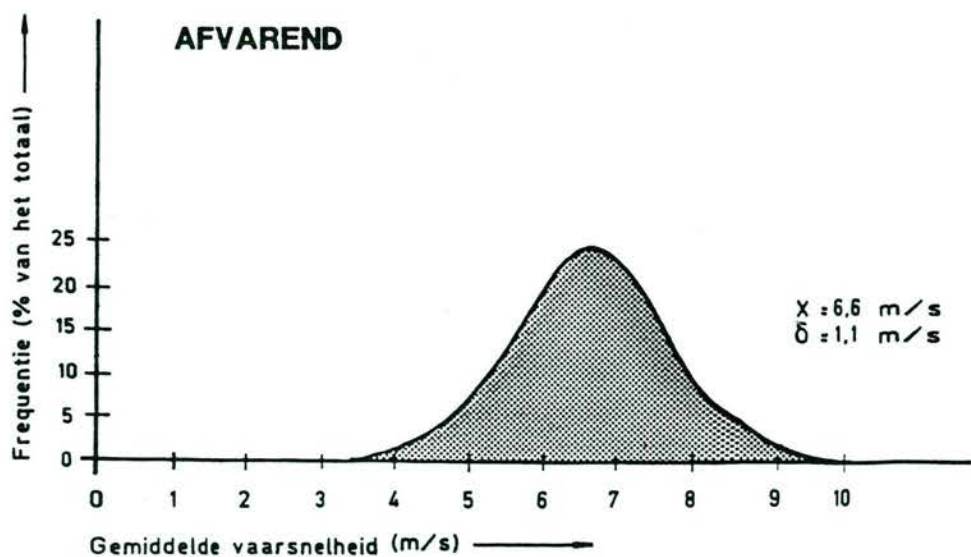
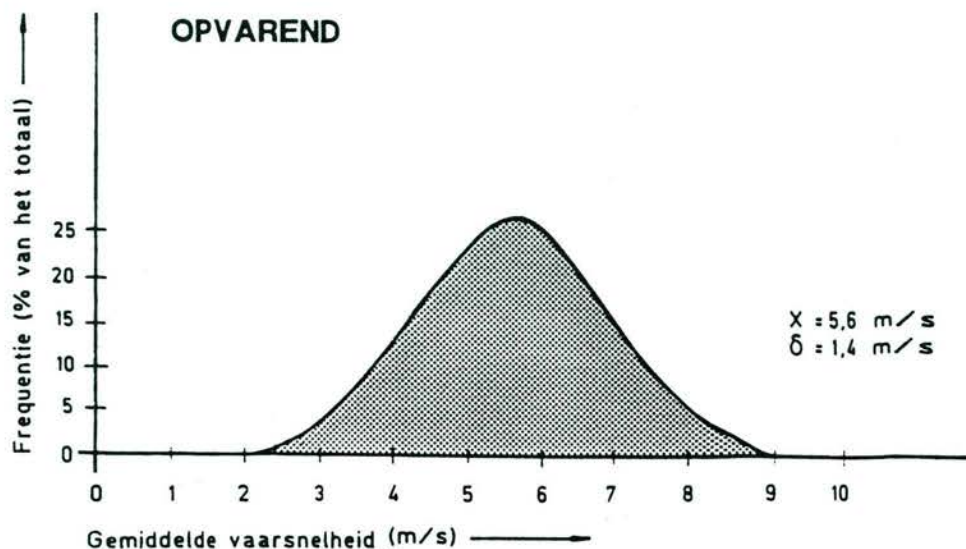
— — — — — totale waargenomen periode

FREQUENTIEVERDELING VAARSNELHEDEN ZEESCHEPEN
 GELADEN EN ONGELADEN

RIJKSWATERSTAAT
 DIENST VERKEERSKUNDE
 HOOFDAFDELING SCHEEPVAART

SCHAAL:

get.	gez.	Nr.:
12-4-88		
J. P.		



Waarnemingen : November 1980 (vanaf radar, verdekt)

Vaarsnelheden : T.o.v. aardvast assenstelsel

FREQUENTIEVERDELING VAARSNELHEDEN ZEESCHEPEN
OPVAREND EN AFVAREND

Fig.13

SCHAAL:

get.

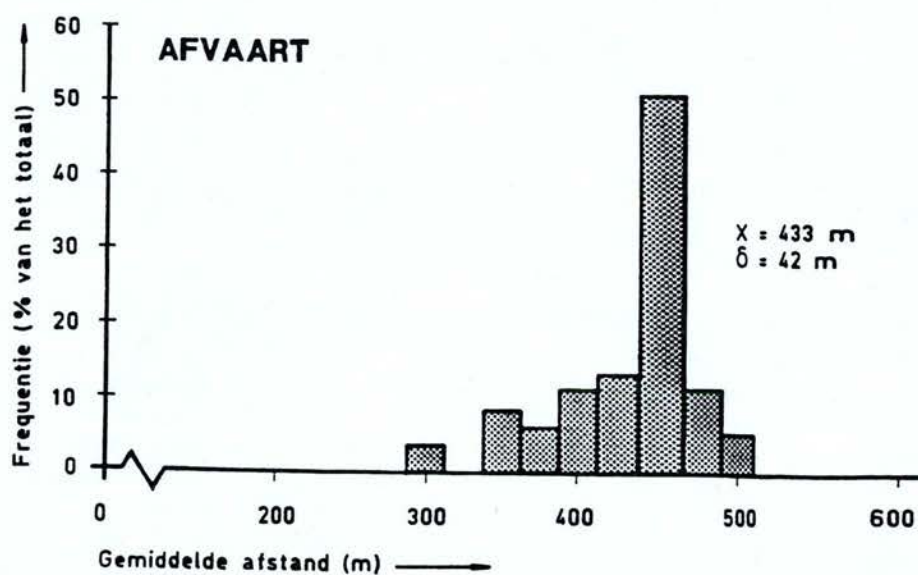
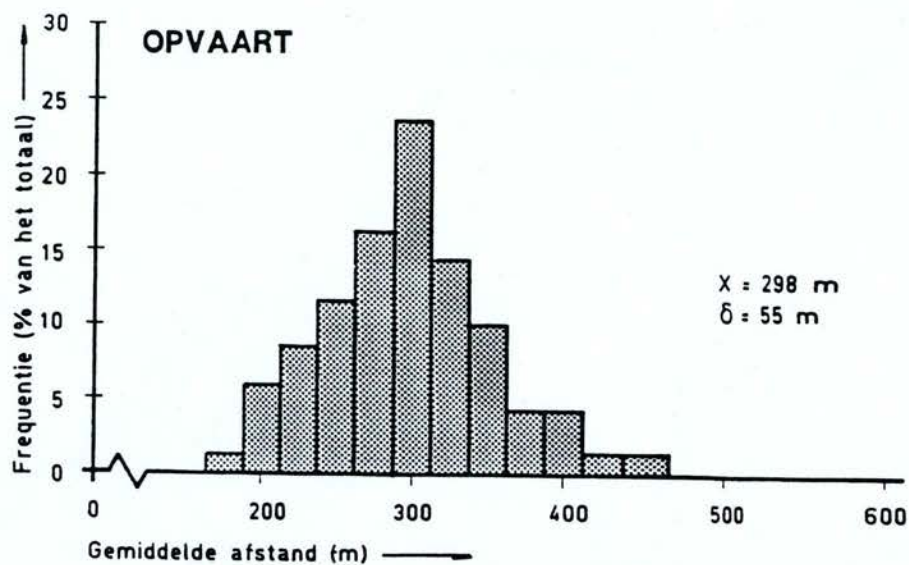
gez.

12-4'88

J.P.

Nr. S 87.117

RIJKSWATERSTAAT
DIENST VERKEERSKUNDE
HOOFDAAFDELING SCHEEPVAART



Waarnemingen : Nov. '87

Afstanden : t.o.v. oeverlijn

FREQUENTIEVERDELING AFSTANDEN ZEESCHEPEN TOT OEVERLIJN
 OPVAART EN AFVAART

SCHAAL:

RIJKSWATERSTAAT
 DIENST VERKEERSKUNDE
 HOOFDAFDELING SCHEEPVAART

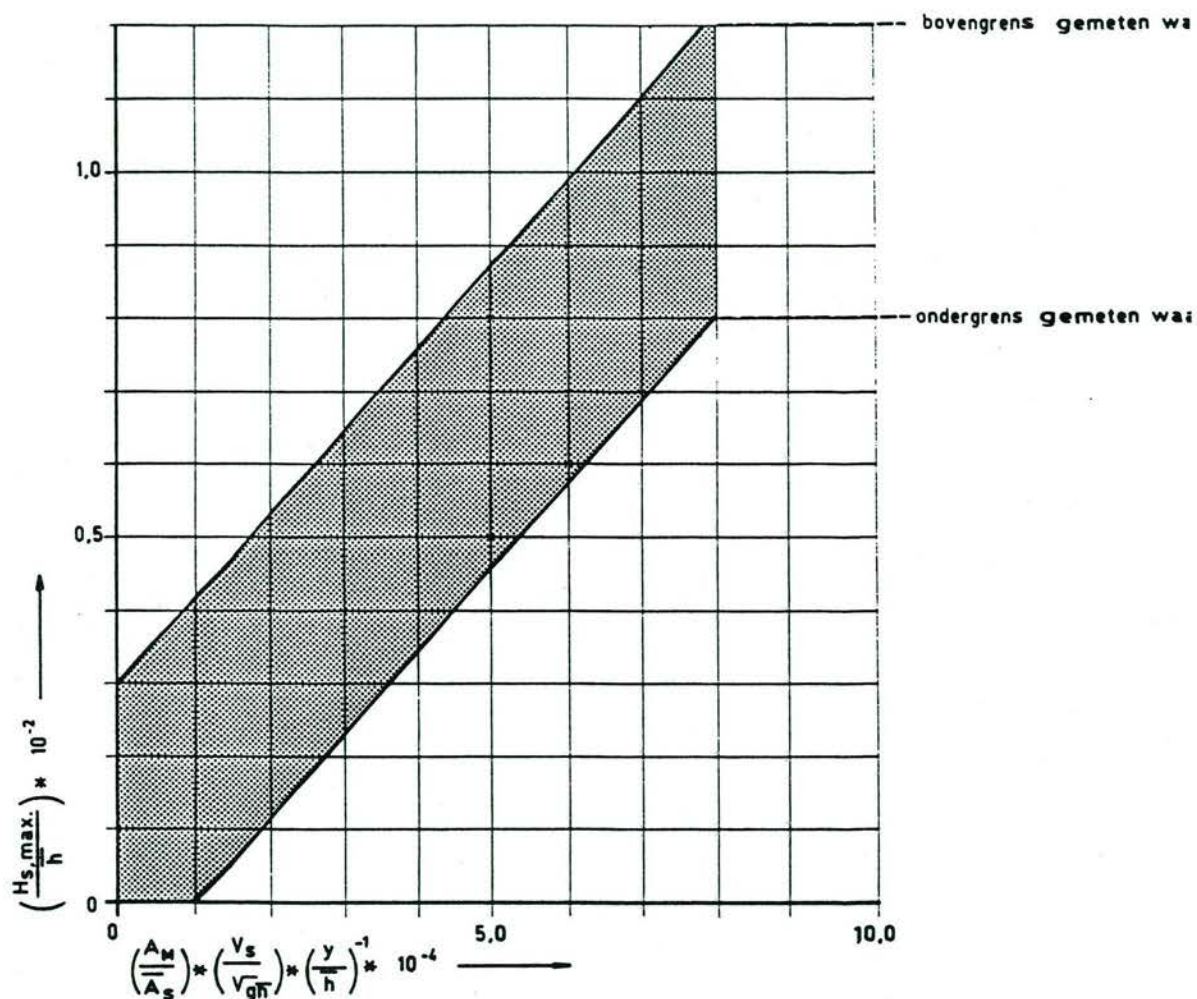
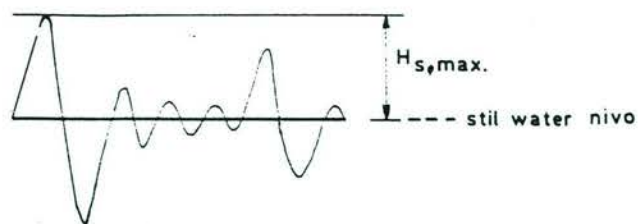
get.

gez.

12-4'88

J.P.

Nr. :



Afgeleide functie: $\left(\frac{H_{s,max}}{h}\right) \approx 11.4 * \left(\frac{A_M}{A_S}\right) * \left(\frac{V_S}{\sqrt{gh}}\right) * \left(\frac{y}{h}\right)^{-1} * 0.1 * 10^{-2}$

MAX. SECUNDAIRE GOLVEN IN DE DIEPE HAVEN ALS FUNKTIE
VAN GROOTSPANTOPP. , VAARSNELHEID EN AFSTAND

Fig. 15

SCHAAL:

get.

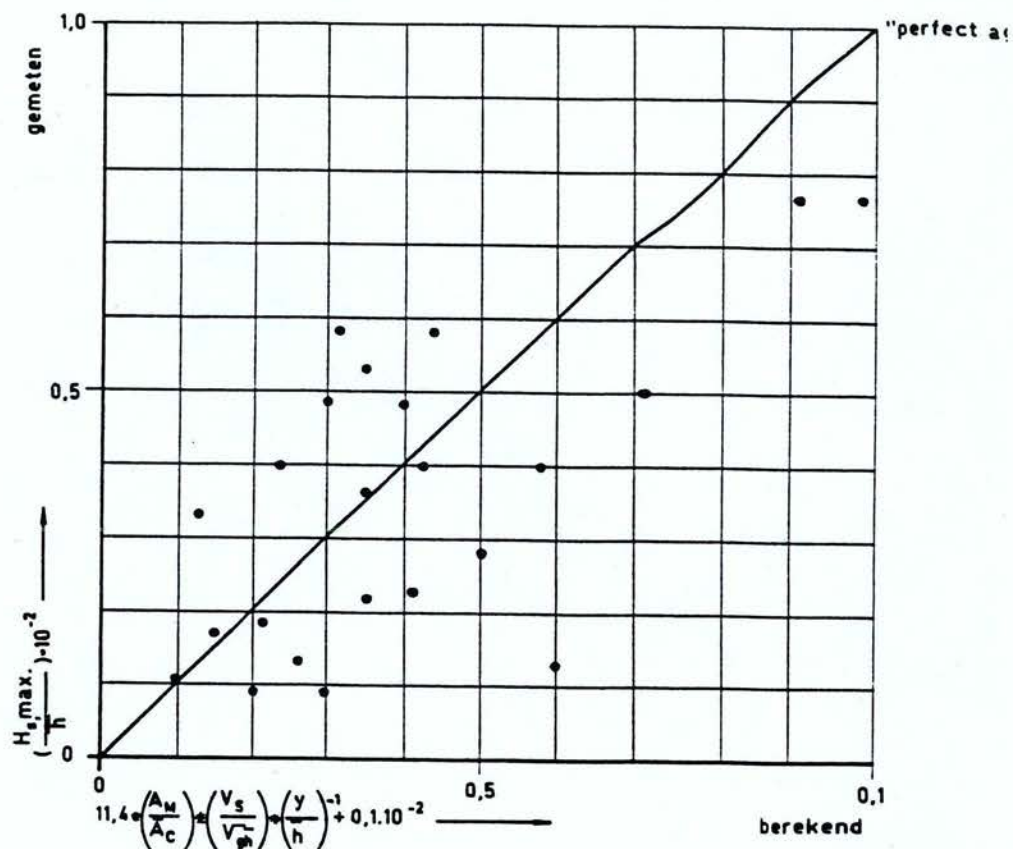
gez.

2.5.88

R.R.

Nr. S 87.117

RIJSWATERSTAAT
DIENST VERKEERSKUNDE
HOOFDAFDELING SCHEEPVAART



VERGELIJKING GEMETEN EN BEREKENDE SECUNDAIRE GOLVEN
IN DE DIEPE HAVEN

RIJKSWATERSTAAT
DIENST VERKEERSKUNDE
HOOFDAFDELING SCHEEPVAART

SCHAAL:

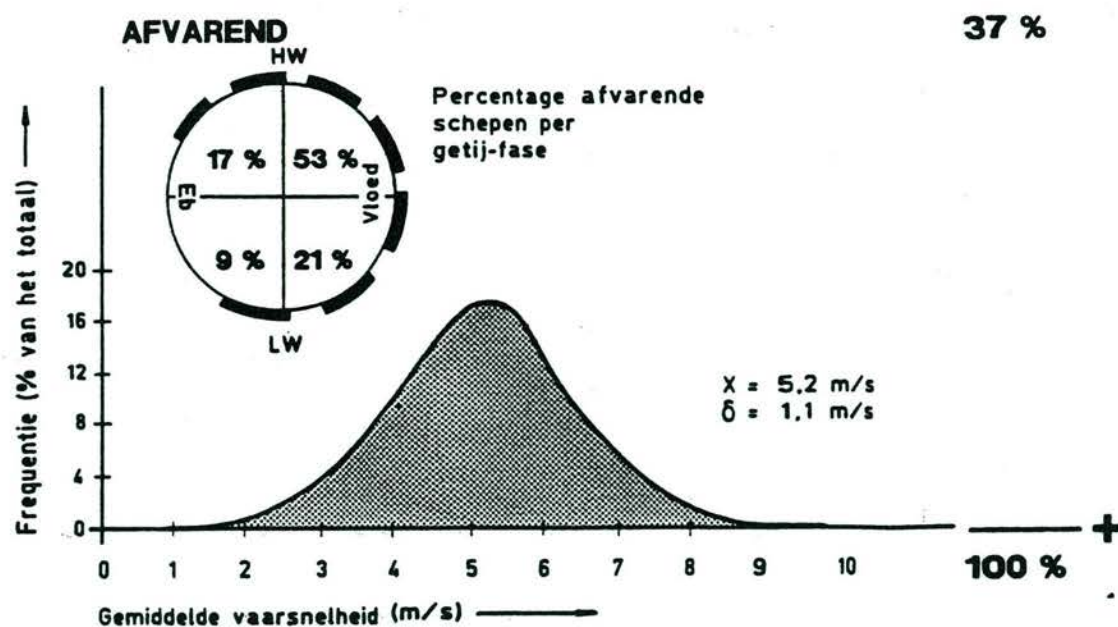
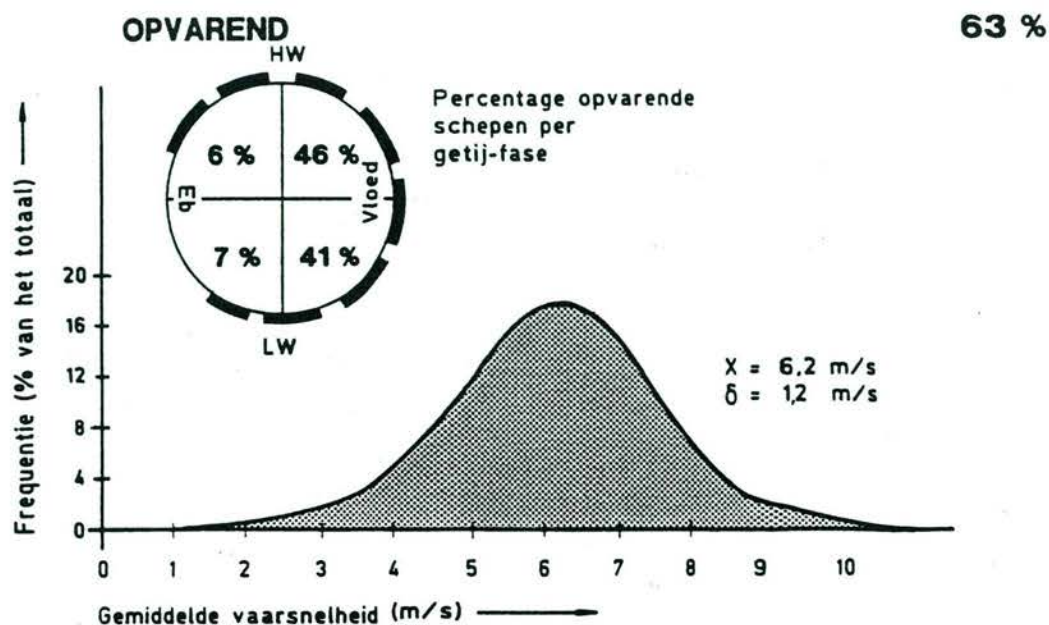
get.

gez.

2.5.88

R.R.

Nr. S



Waarnemingen: november 1987

Vaarsnelheden: t.o.v. aardvast assenstelsel

— — — — — totale waargenomen periode

FREQUENTIEVERDELING VAARSNELHEDEN ZEESCHEPEN
OPVAREND EN AFVAREND

Fig. 9

SCHAAL:

get.

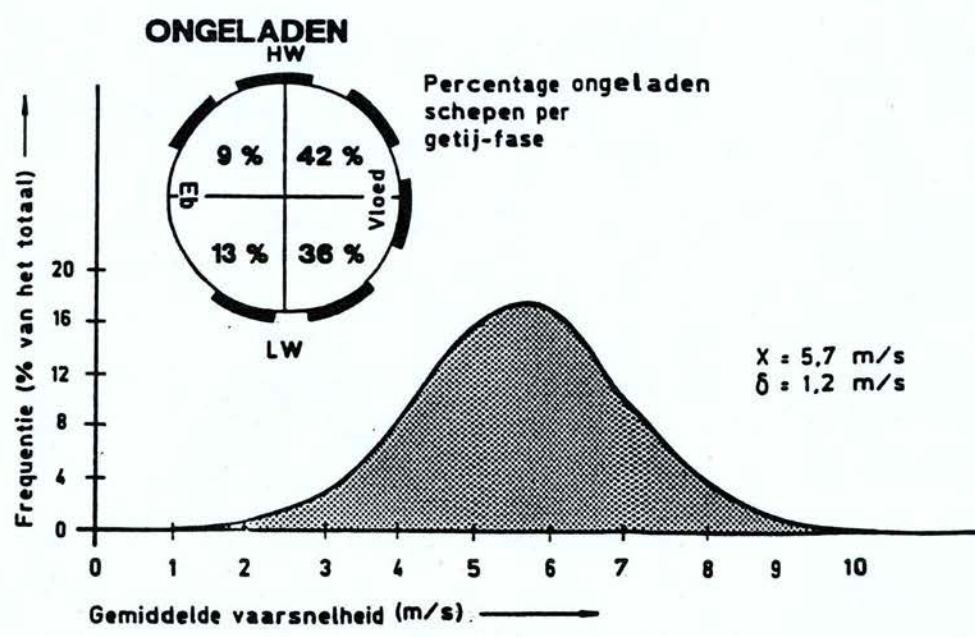
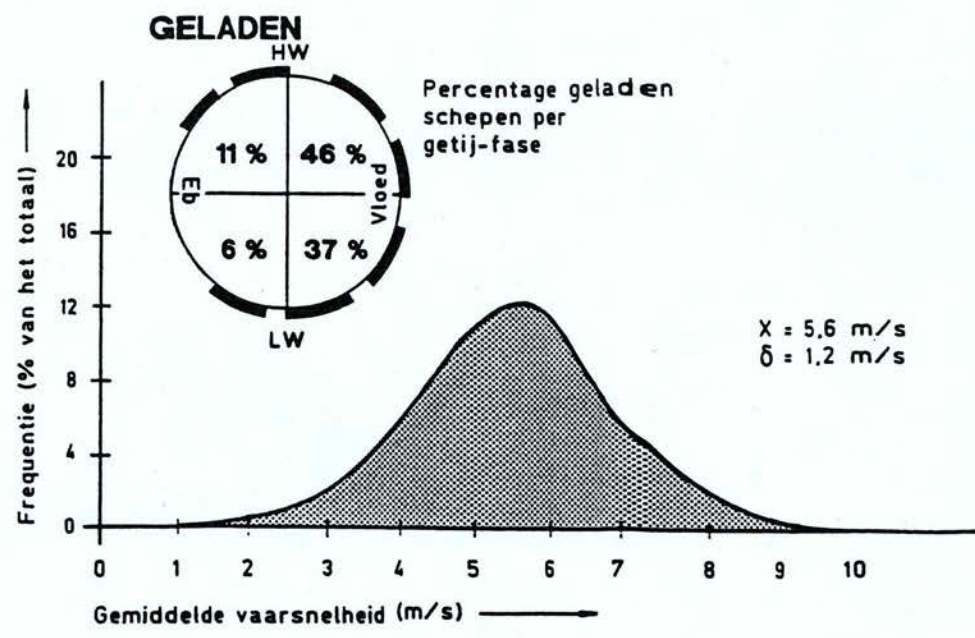
gez.

12-4'85

J.P.

Nr. S 87.117

RIJKSWATERSTAAT
DIENST VERKEERSKUNDE
HOOFDAFDELING SCHEEPVAART



Waarnemingen: november 1987

Vaarsnelheden: t.o.v. aardvast assenstelsel

— — — — — totale waargenomen periode

FREQUENTIEVERDELING VAARSNELHEDEN ZEESCHEPEN
GELADEN EN ONGELADEN

RIJKSWATERSTAAT
DIENST VERKEERSKUNDE
HOOFDAFDELING SCHEEPVAART

SCHAAL:

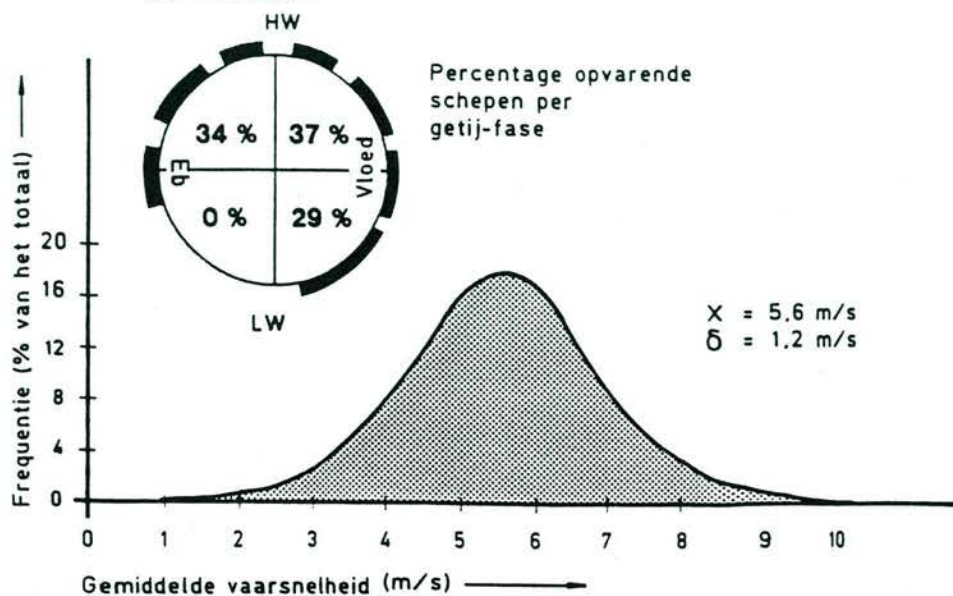
get.	gez.
12-4'88	
J.P.	

Nr. S 87.117

Fig. 10

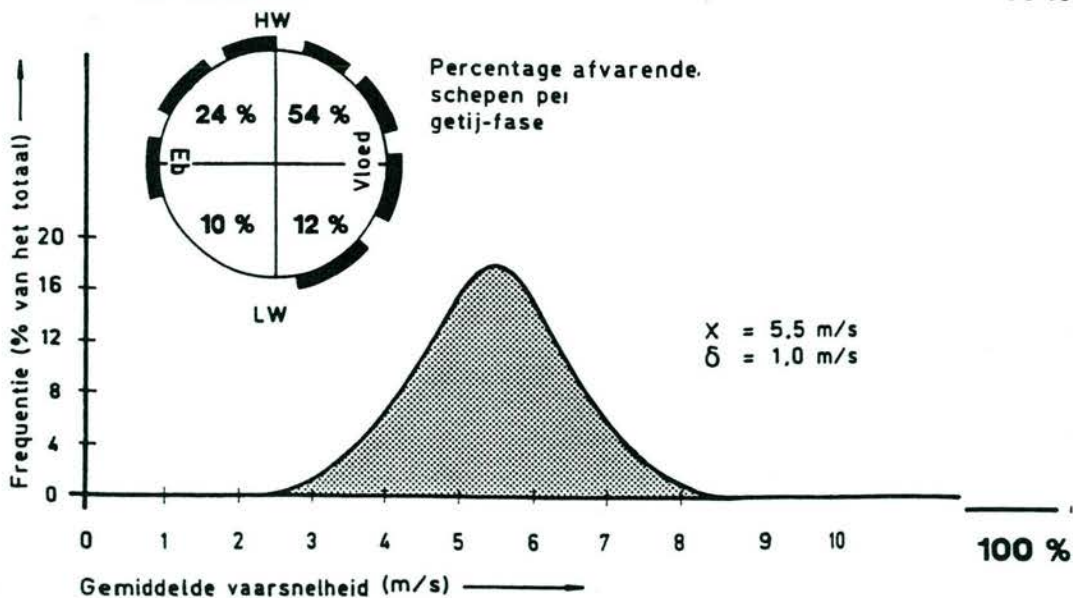
OPVAREND

59 9



AFVAREND

41 %



Waarnemingen: februari 1988 (verdekt)

Vaarsnelheden: t.o.v. aardvast assenstelsel

— — — — — totale waargenomen periode

FREQUENTIEVERDELING VAARSNELHEDEN ZEESCHEPEN
OPVAREND EN AFVAREND

Fig. 11

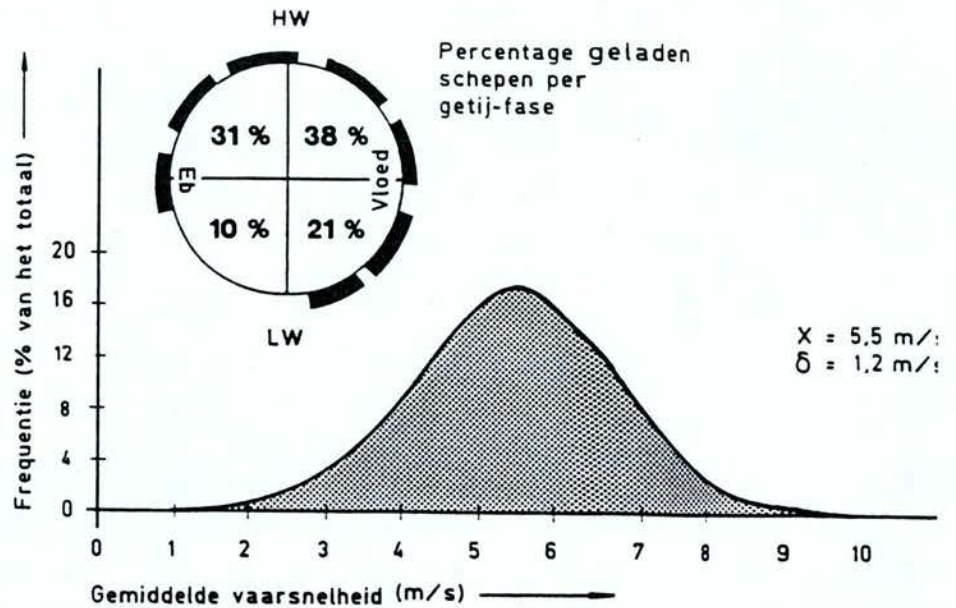
SCHAAL:

get.	gez.
12-4	88
J. P.	

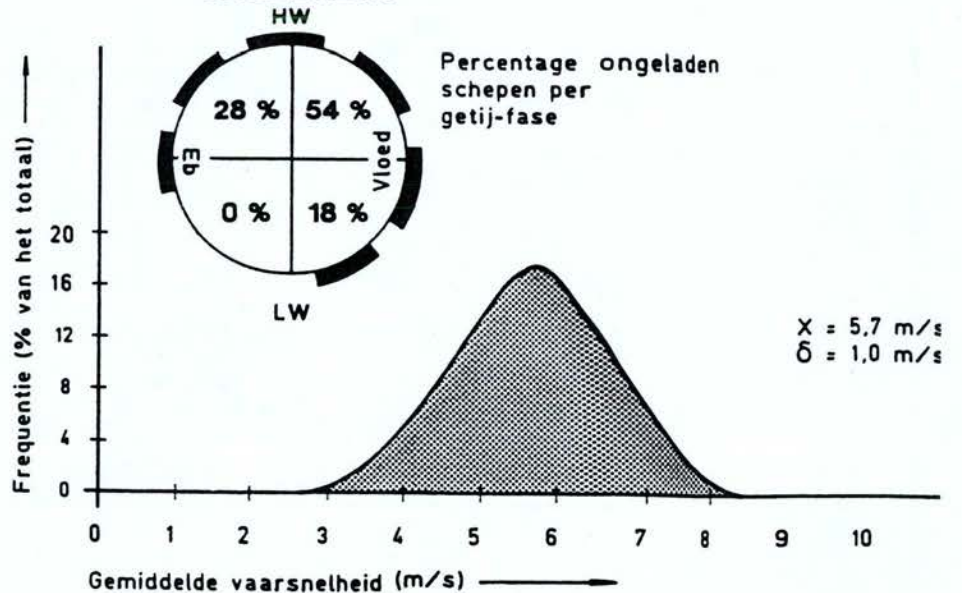
Nr. S 87.117

RIJKSWATERSTAAT
DIENST VERKEERSKUNDE
HOOFDAFDELING SCHEEPVAART

GELADEN



ONGELADEN



Waarnemingen: februari 1988 (verdekt)

Vaarsnelheden: t.o.v. aardvast assenstelsel

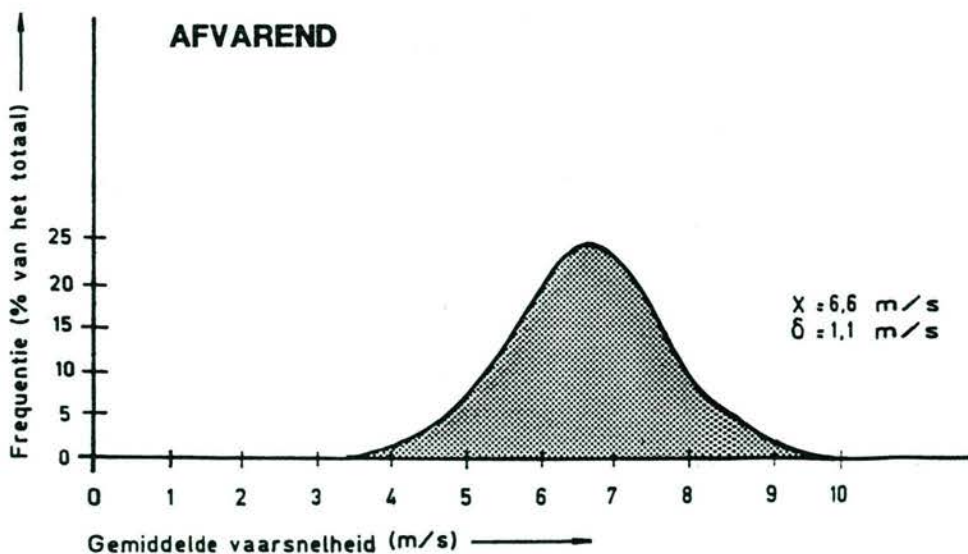
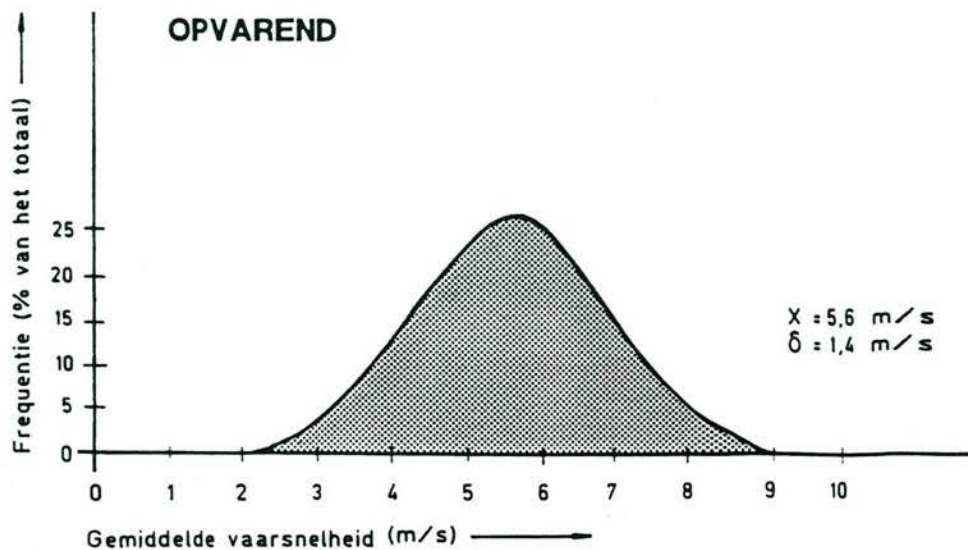
— — — — — totale waargenomen periode

FREQUENTIEVERDELING VAARSNELHEDEN ZEESCHEPEN
GELADEN EN ONGELADEN

RIJKSWATERSTAAT
DIENST VERKEERSKUNDE
HOOFDAFDELING SCHEEPVAART

SCHAAL:

get.	gez.	Nr.:
12-4-88		
J.P.		



100

Waarnemingen : November 1980 (vanaf radar, verdekt)

Vaarsnelheden : T.o.v. aardvast assenstelsel

FREQUENTIEVERDELING VAARSNELHEDEN ZEESCHEPEN
OPVAREND EN AFVAREND

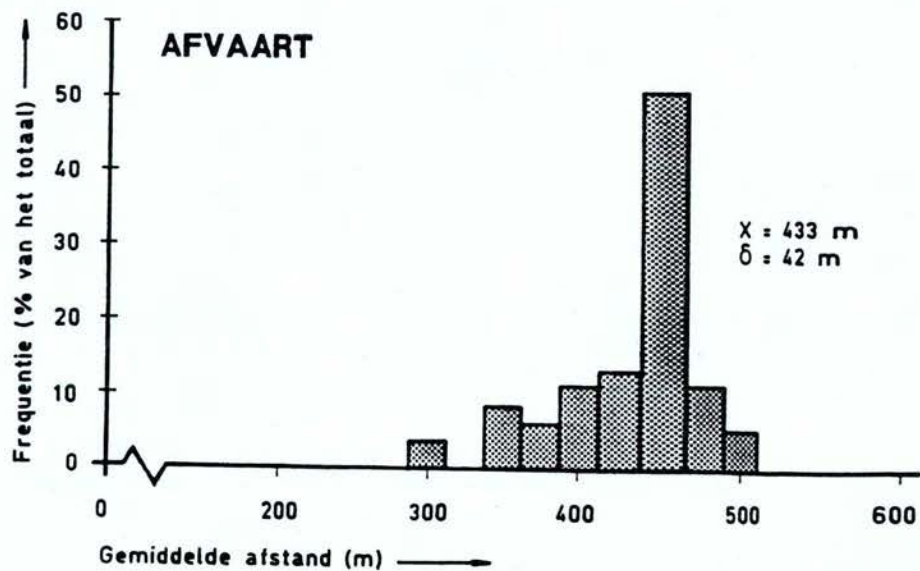
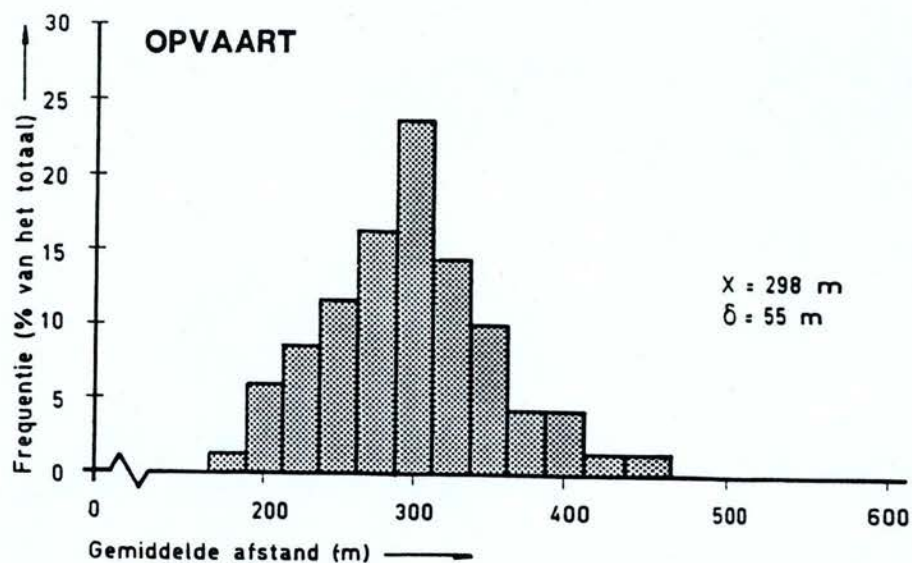
Fig.13

SCHAAL:

get.	gez.
12-4'88	
J.P.	

Nr. S 87.117

RIJKSWATERSTAAT
DIENST VERKEERSKUNDE
HOOFDAFDELING SCHEEPVAART



Waarnemingen : Nov. '87

Afstanden : t.o.v. oeverlijn

FREQUENTIEVERDELING AFSTANDEN ZEESCHEPEN TOT OEVERLIJN
 OPVAART EN AFVAART

SCHAAL:

RIJKSWATERSTAAT
 DIENST VERKEERSKUNDE
 HOOFDAFDELING SCHEEPVAART

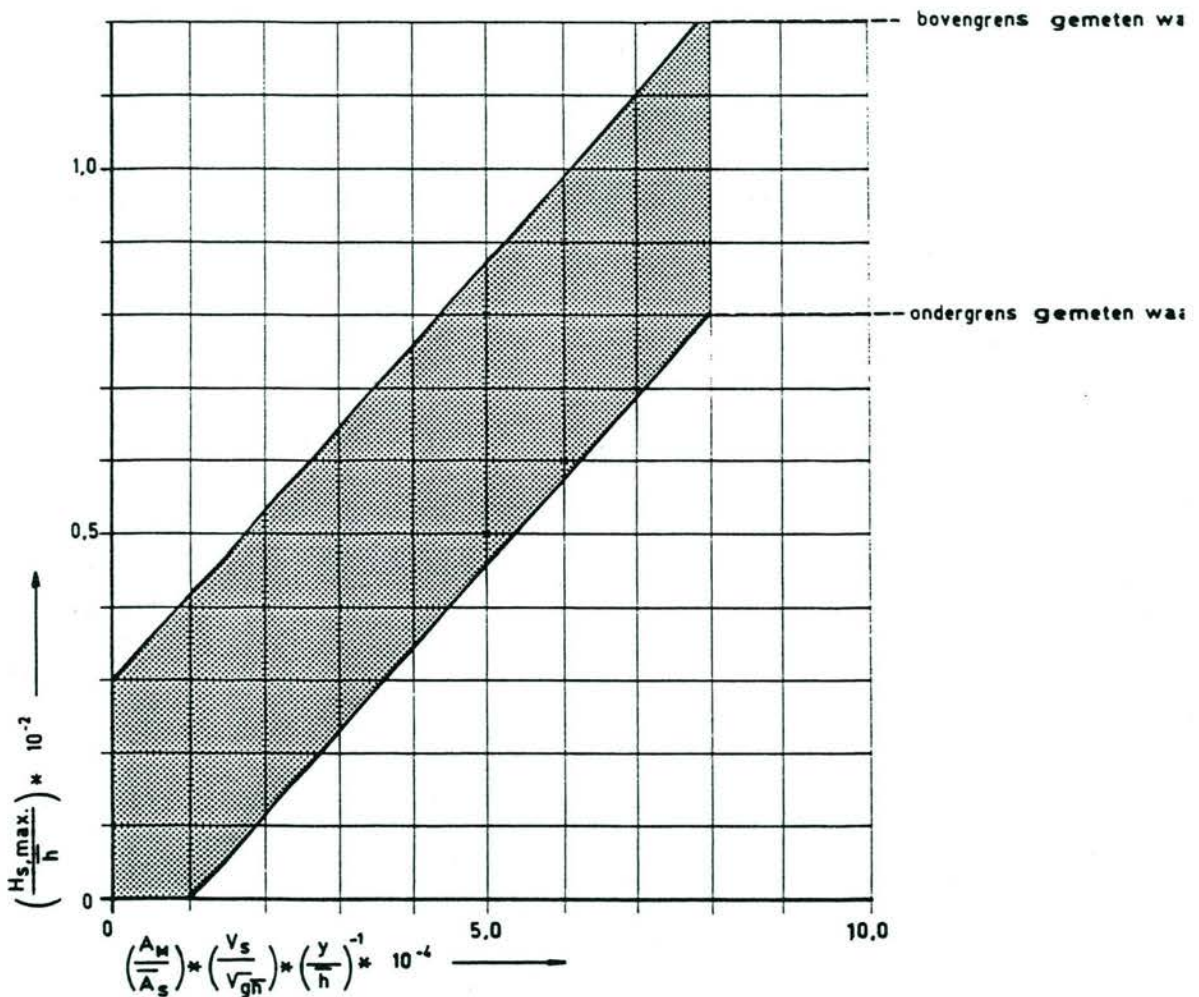
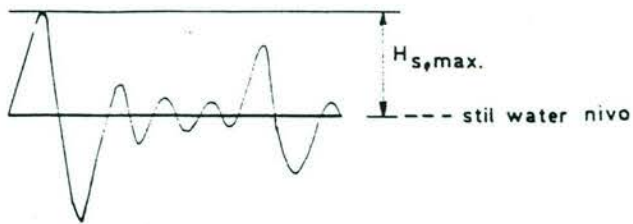
get.

gez.

12-4-88

J.P.

Nr. :



Afgeleide functie: $\left(\frac{H_{s,max}}{h}\right) \approx 11.4 * \left(\frac{A_M}{A_S}\right) * \left(\frac{V_S}{\sqrt{gh}}\right) * \left(\frac{y}{h}\right)^{-1} * 0.1 * 10^{-2}$

MAX. SECUNDAIRE GOLVEN IN DE DIEPE HAVEN ALS FUNKTIE
VAN GROOTSPANTOPP. , VAARSNELHEID EN AFSTAND

Fig. 15

SCHAAL:

get.

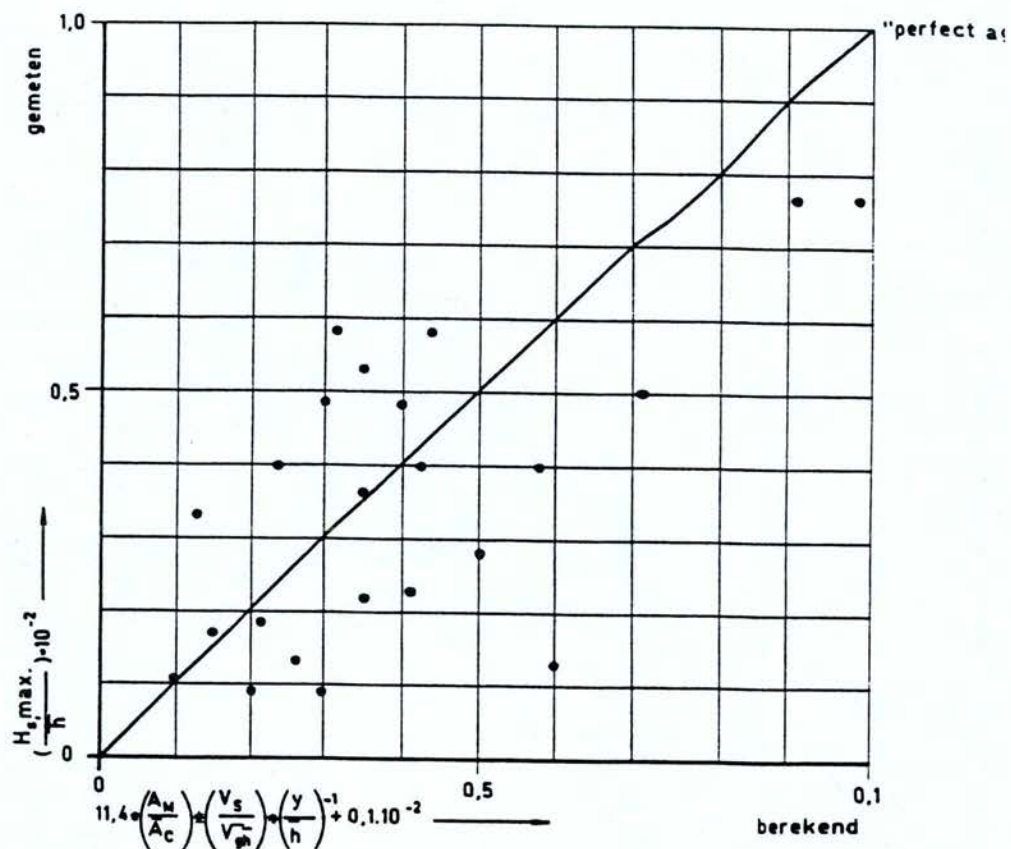
gez.

2.5.88

R.R.

Nr. S 87.117

RIJSWATERSTAAT
DIENST VERKEERSKUNDE
HOOFDAFDELING SCHEEPVAART



VERGELIJKING GEMETEN EN BEREKENDE SECUNDAIRE GOLVEN
IN DE DIEPE HAVEN

RIJSWATERSTAAT
DIENST VERKEERSKUNDE
HOOFDAFDELING SCHEEPVAART

SCHAAL:

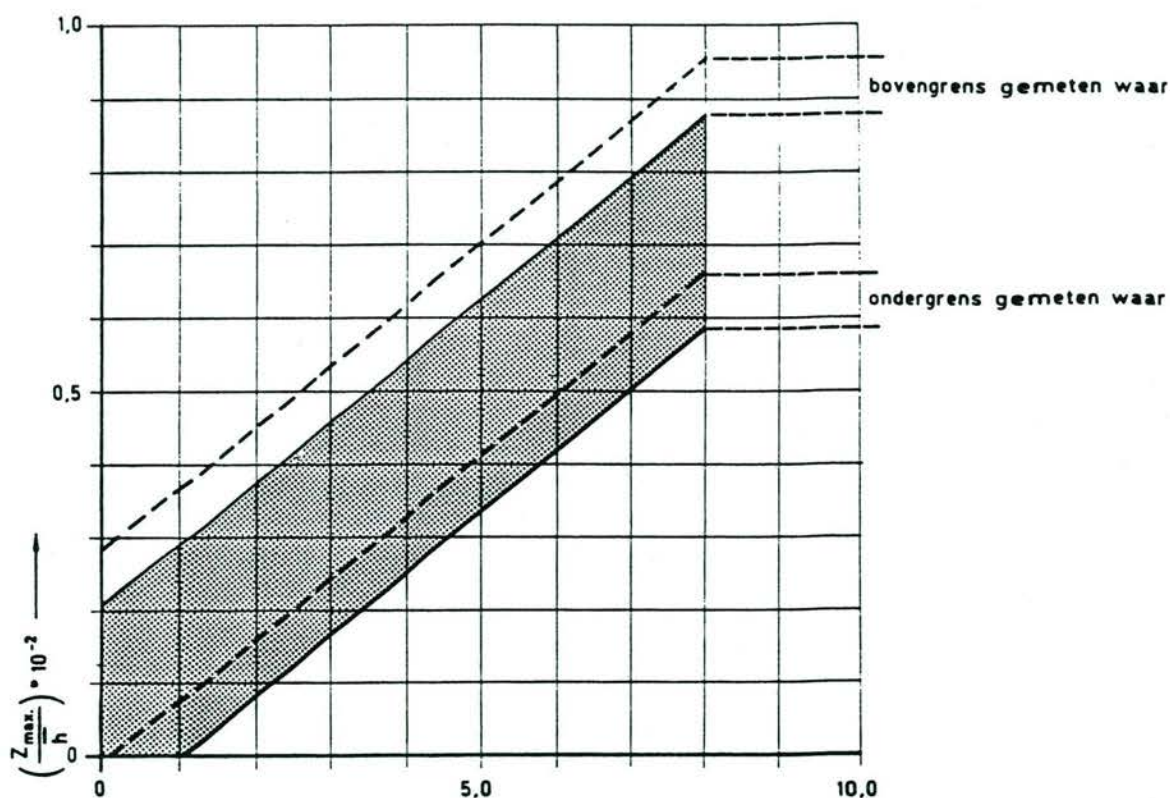
get.

gez.

2.5.88

R.R.

Nr. 5



$$\left(\frac{A_M}{A_S}\right) \cdot \left(\frac{V_S}{V_{gh}}\right) \cdot \left(\frac{y}{h}\right)^{-1} \cdot 10^{-4} \longrightarrow$$

Begin lokatie 1 ($x = 0,05$)

Einde lokatie 1 ($x = 0,13$)

$$\text{Afgeleide functie: } \left(\frac{Z_{\max.}}{h}\right) \approx 8,30 \cdot \left(\frac{A_M}{A_S}\right) \cdot \left(\frac{V_S}{V_{gh}}\right) \cdot \left(\frac{y}{h}\right)^{-1} \cdot x \cdot 10^{-2}$$

MAX. WATERSPIEGEL RIJZING/DALING IN DE DIEPE HAVEN ALS
FUNKTIE VAN GROOTSPANTOPP., VAARSNELHEID EN AFSTAND

Fig. 17

SCHAAL:

get.

gez.

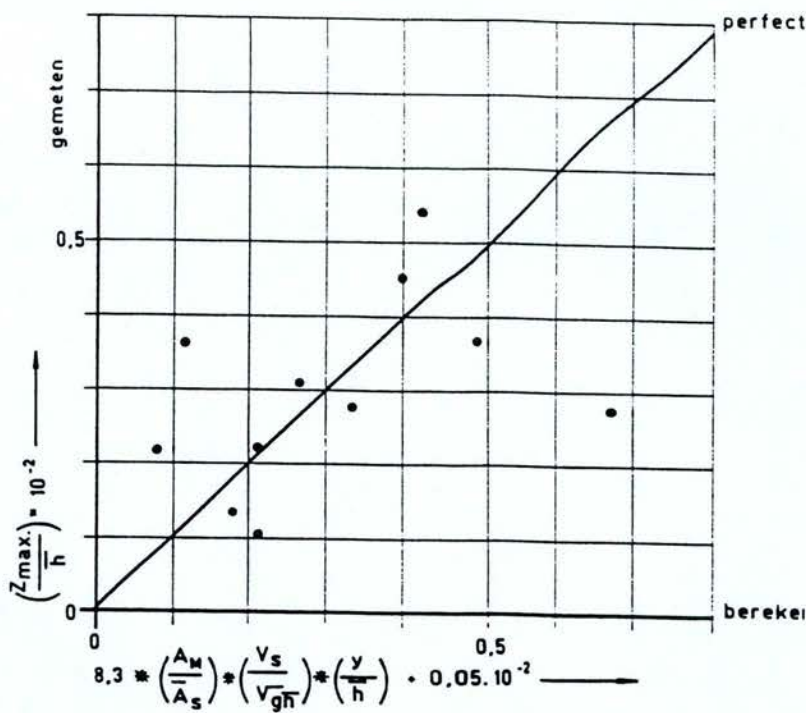
2.5.88

Nr. S 87.117

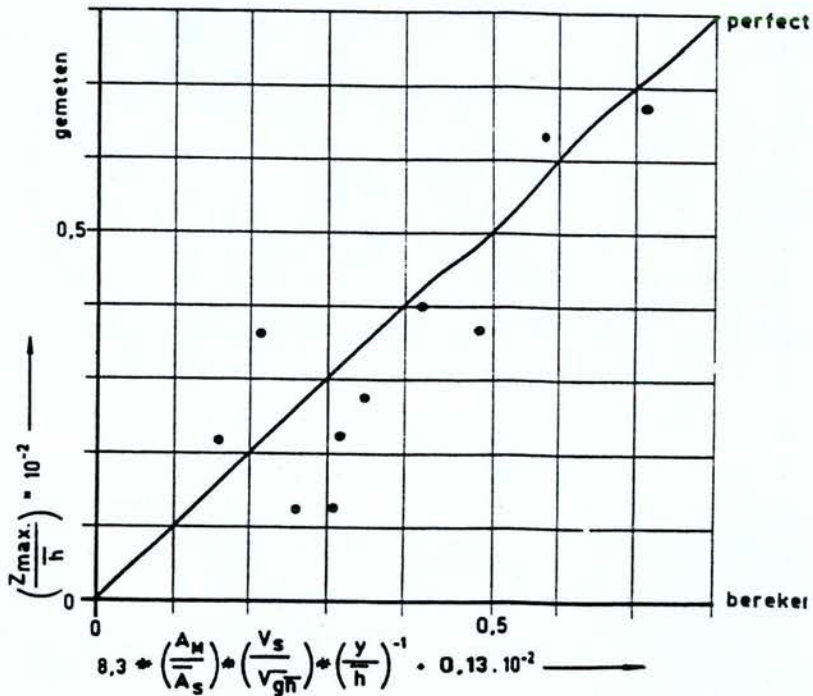
R.R.

RIJKSWATERSTAAT
DIENST VERKEERSKUNDE
HOOFDAFDELING SCHEEPVAART

Begin 1c



Einde 1c



VERGELIJKING GEMETEN EN BEREKENDE WATERSPIEGELDALINGEN EN
- STIJGINGEN OP TWEE LOKATIES IN DE DIEPE HAVEN.

RIJKSWATERSTAAT
DIENST VERKEERSKUNDE
HOOFDAFDELING SCHEEPVAART

SCHAAL:

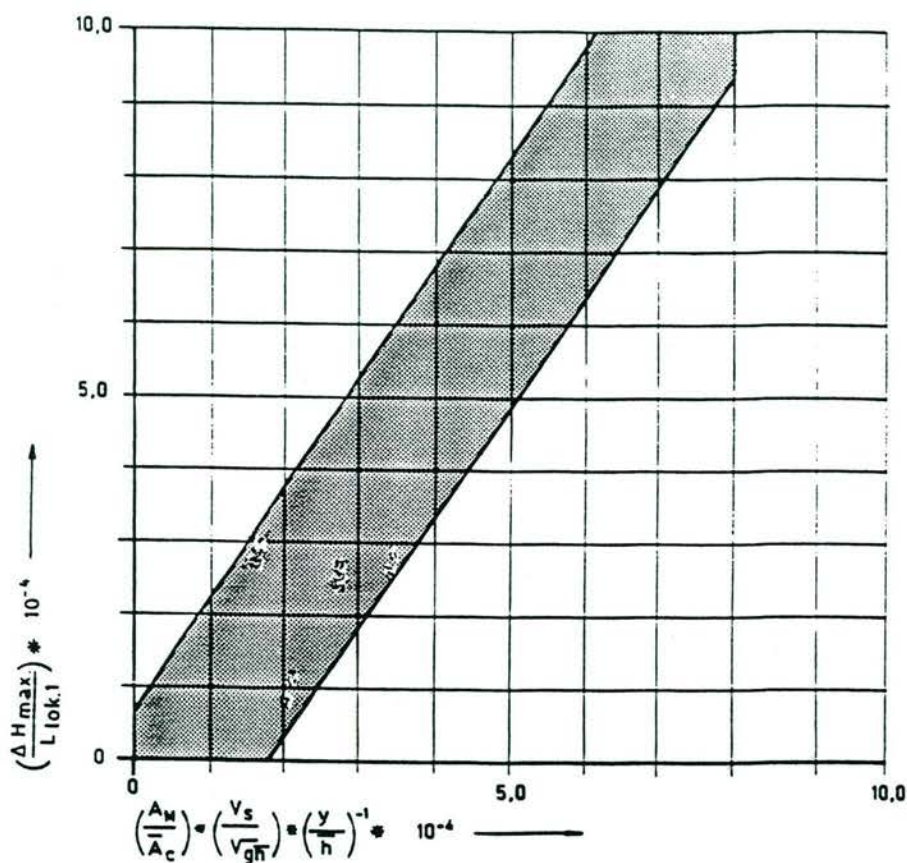
get.

gez.

3.5.88

R.R.

Nr. S



Afgeleide functie: $\left(\frac{\Delta H_{\max}}{L_{\text{lok1}}} \right) \approx 1,50 \cdot \left(\frac{A_M}{A_c} \right) \cdot \left(\frac{v_s}{\sqrt{gh}} \right) \cdot \left(\frac{y}{h} \right)^{-1} - 1,00 \cdot 10^{-4}$

MAX. VERHANG OVER LOKATIE 1 IN DE DIEPE HAVEN ALS FUNKTIE
VAN GROOTSPANTOPP., VAARSNELHEID EN AFSTAND.

Fig. 19

RIJKSWATERSTAAT
DIENST VERKEERSKUNDE
HOOFDAFDELING SCHEEPVAART

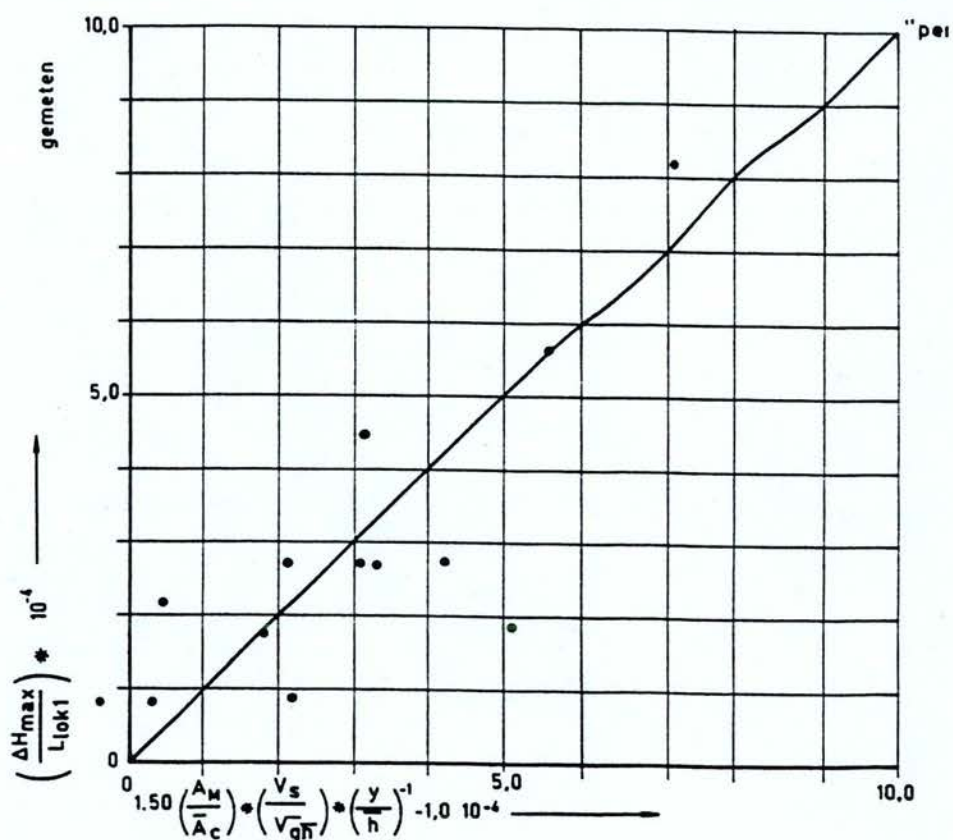
SCHAAL:

get. gez.

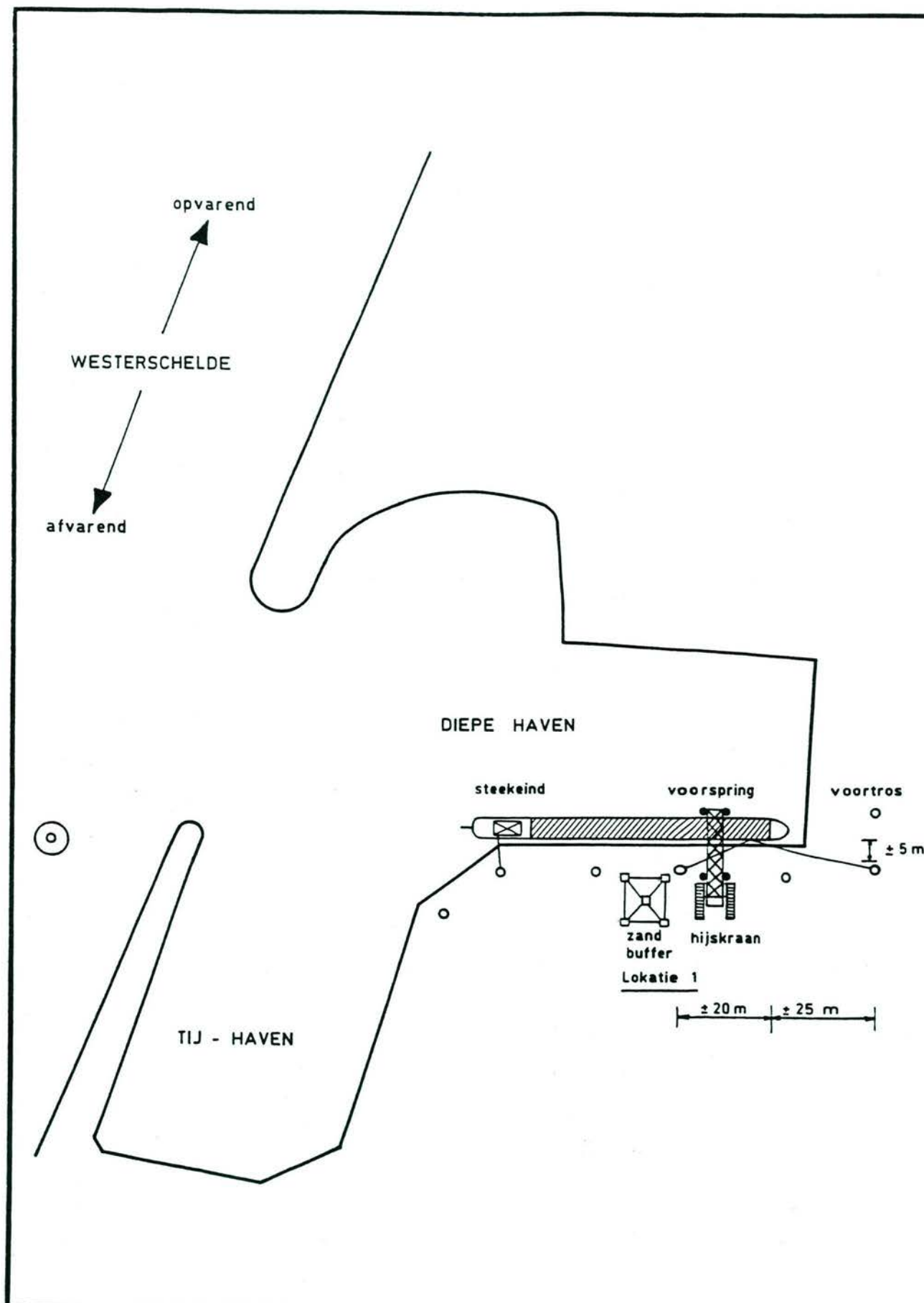
9.5.88

R.R.

Nr. S 87.117



GEMETEN EN BEREKENDE VERHANGEN OVER LOKATIE 1 IN DE DIEPE HAVEN			
RIJKSWATERSTAAT DIENST VERKEERSKUNDE HOOFDAFDELING SCHEEPVAART		SCHAAL:	
		get.	gez.
		9.5:88	
		R.R.	
		Nr. 5	



WIJZE VAN AFMEREN IN DIEPE HAVEN

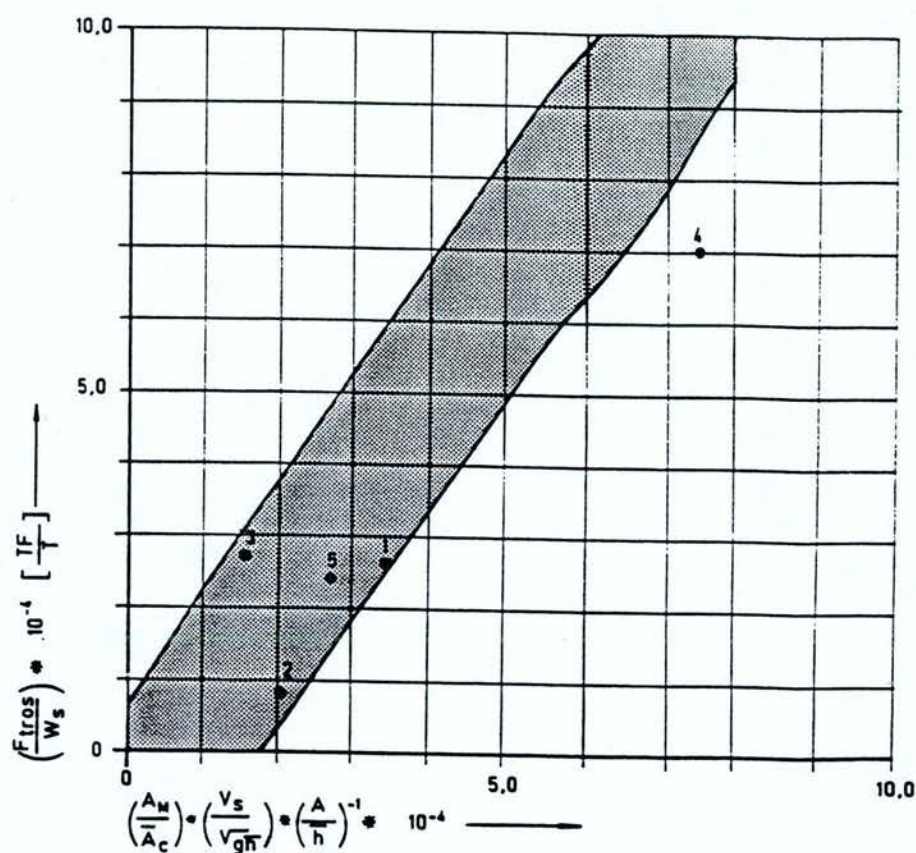
Fig. 21

RIJKSWATERSTAAT
DIENST VERKEERSKUNDE
HOOFDAFDELING SCHEEPVAART

SCHAAL:

get.	gez.
4.5:88	
R.R.	

Nr. S 87.117



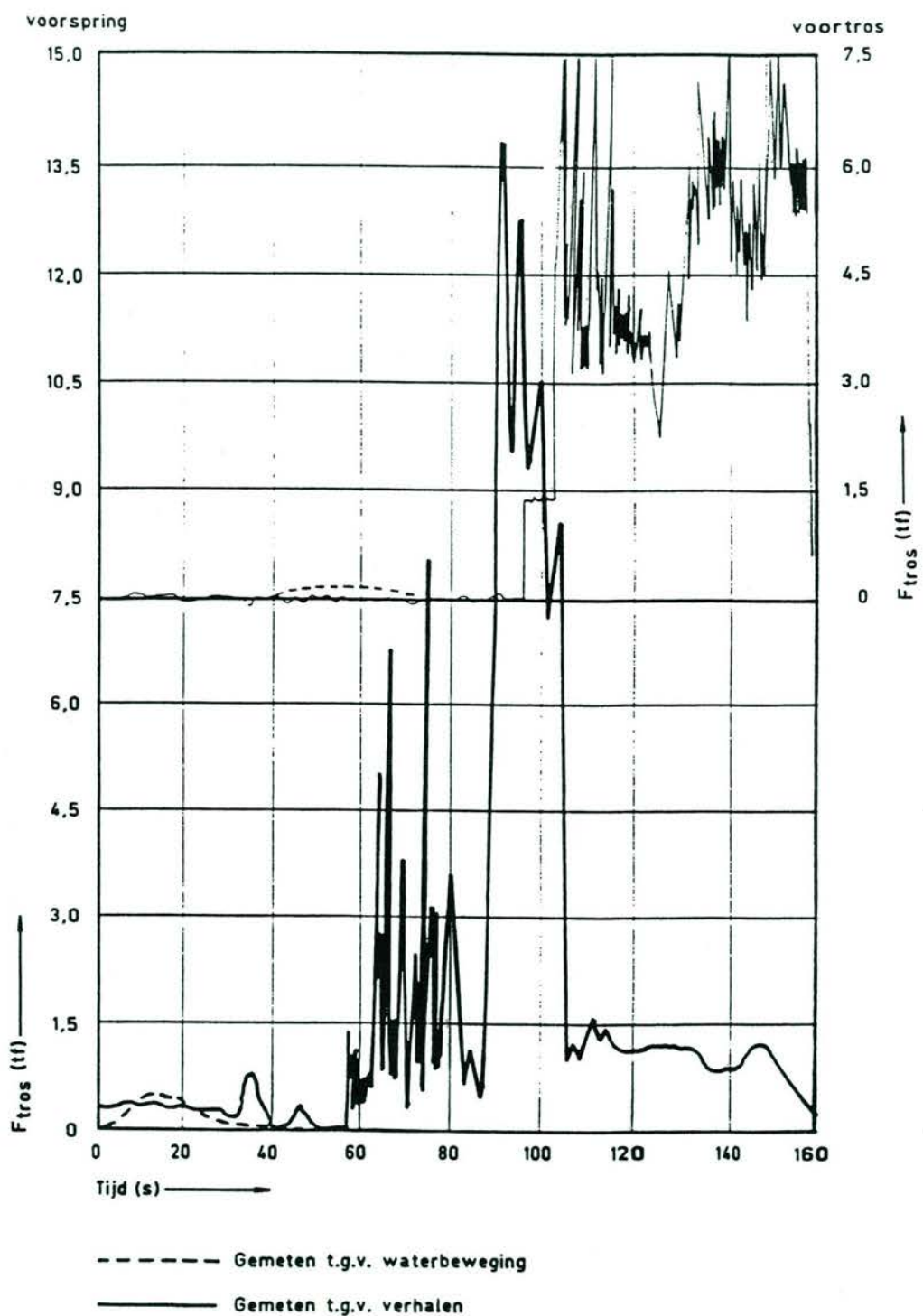
- | | | | | |
|----------------|---|---------------|----------------------|-------------------|
| 1. NOMADIS I : | • 1140 ton laadvermogen
• 400 ton gewicht leeg | 50% geladen] | $W \approx 970$ ton | gemeten • 225 kgf |
| 2. LENIE I : | • 500 ton laadvermogen
• 190 ton gewicht leeg | 90% geladen] | $W \approx 640$ ton | gemeten • 50 kgf |
| 3. NOMADIS II: | • 1140 ton laadvermogen
• 400 ton gewicht leeg | 70% geladen] | $W \approx 1200$ ton | gemeten • 325 kgf |
| 4. LENIE II : | • 500 ton laadvermogen
• 190 ton gewicht leeg | 90% geladen] | $W \approx 640$ ton | gemeten • 450 kgf |
| 5. CAROLA : | • 1350 ton laadvermogen
• 550 ton gewicht leeg | 70% geladen] | $W \approx 1500$ ton | gemeten • 325 kgf |

UIT GEMETEN VERHANGEN AFGELEIDE TROSKRACHTEN EN GEMETEN
TROSKRACHTEN ALS FUNKTIE VAN ZEESCHIPKARAKTERISTIEKEN

RIJKSWATERSTAAT
DIENST VERKEERSKUNDE
HOOFD AFD ELING SCHEEPVAART

SCHAAL:

get.	gez.	Nr.
9.5:88		
R.R.		



GEMETEN TROSKRACHTEN TIJDENS VERHALEN EN t.g.v. WATERBEWEGING
DOOR PASSERENDE ZEESCHEPEN BIJ HET m.s. LENIE.

Fig. 23

SCHAAL:

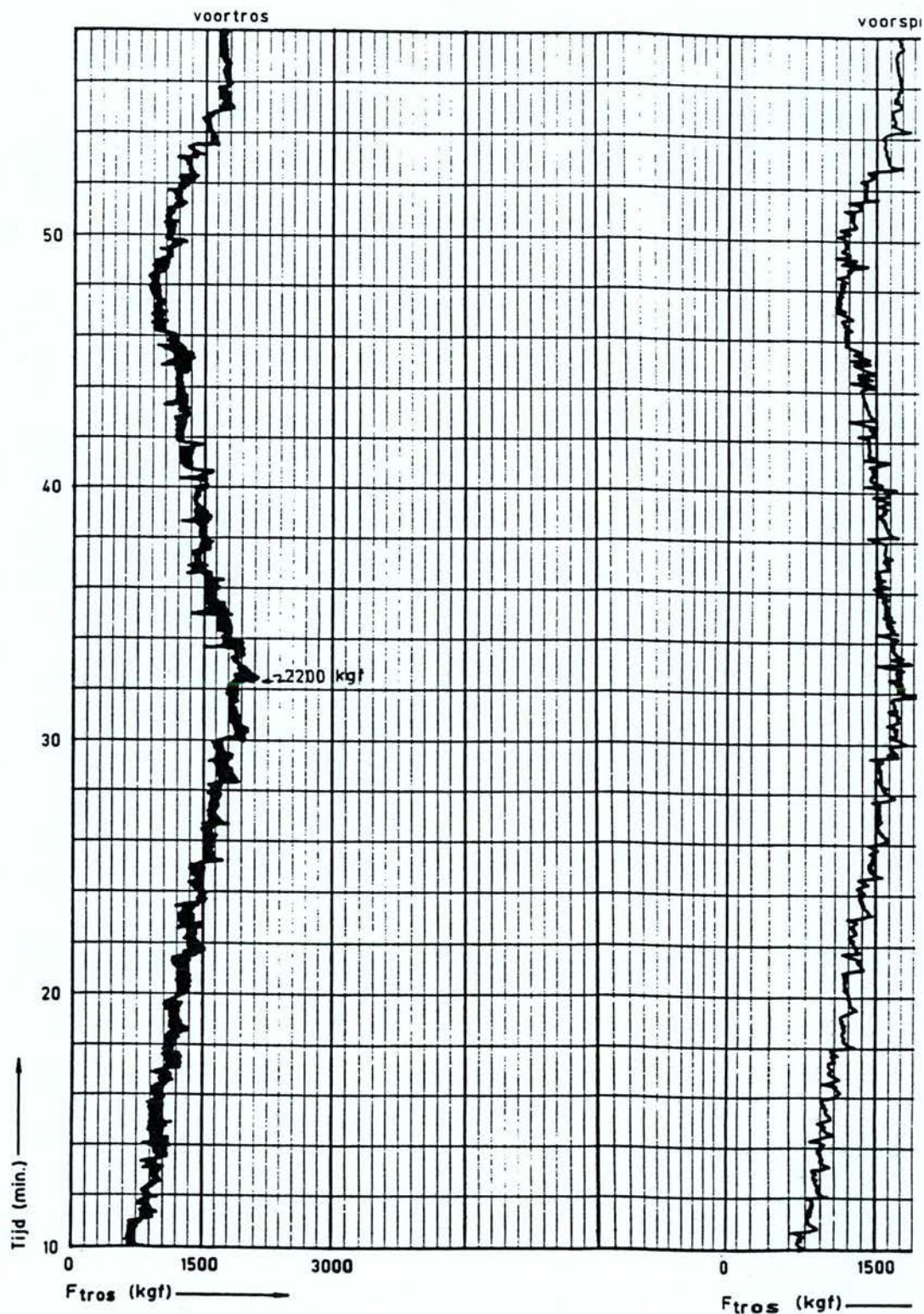
get. gez.

4.5.88

R.R.

Nr. S 87.117

RIJKSWATERSTAAT
DIENST VERKEERSKUNDE
HOOFDAFDELING SCHEEPVAART



GEMETEN TROSKRACHTEN TIJDENS EB BIJ STRAKGEHOUDEN
VOORTROS EN VOORSPI.

RIJKSWATERSTAAT
DIENST VERKEERSKUNDE
HOOFDAFDELING SCHEEPVAART

SCHAAL:

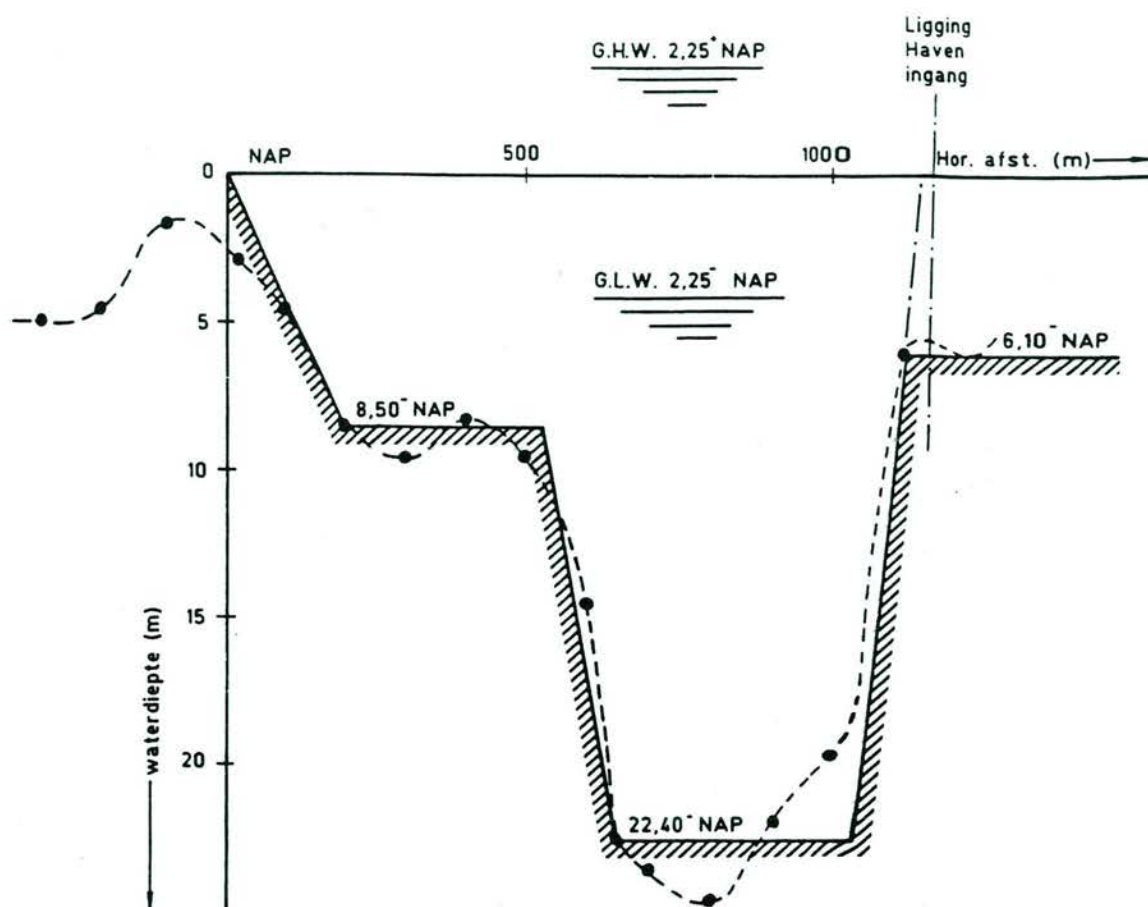
get.

gez.

4.5:88

R.R.

Nr. 5



————— = Schematisatie
 ● — — — ● = Peiling uit 1984
 t.o.v. NAP $\left\{ \begin{array}{l} \bar{A}_c \approx 14.400 \text{ [m}^2\text{]} \\ \bar{h} \approx 22,40 \text{ (m) (vaargeul)} \\ h' = \frac{\bar{A}_c}{B_w} \approx 12,50 \text{ (m).} \end{array} \right.$

SCHEMATISATIE WESTERSCHDELDE VAARGEUL t.p.v. HAVEN
VAN WALSOORDEN

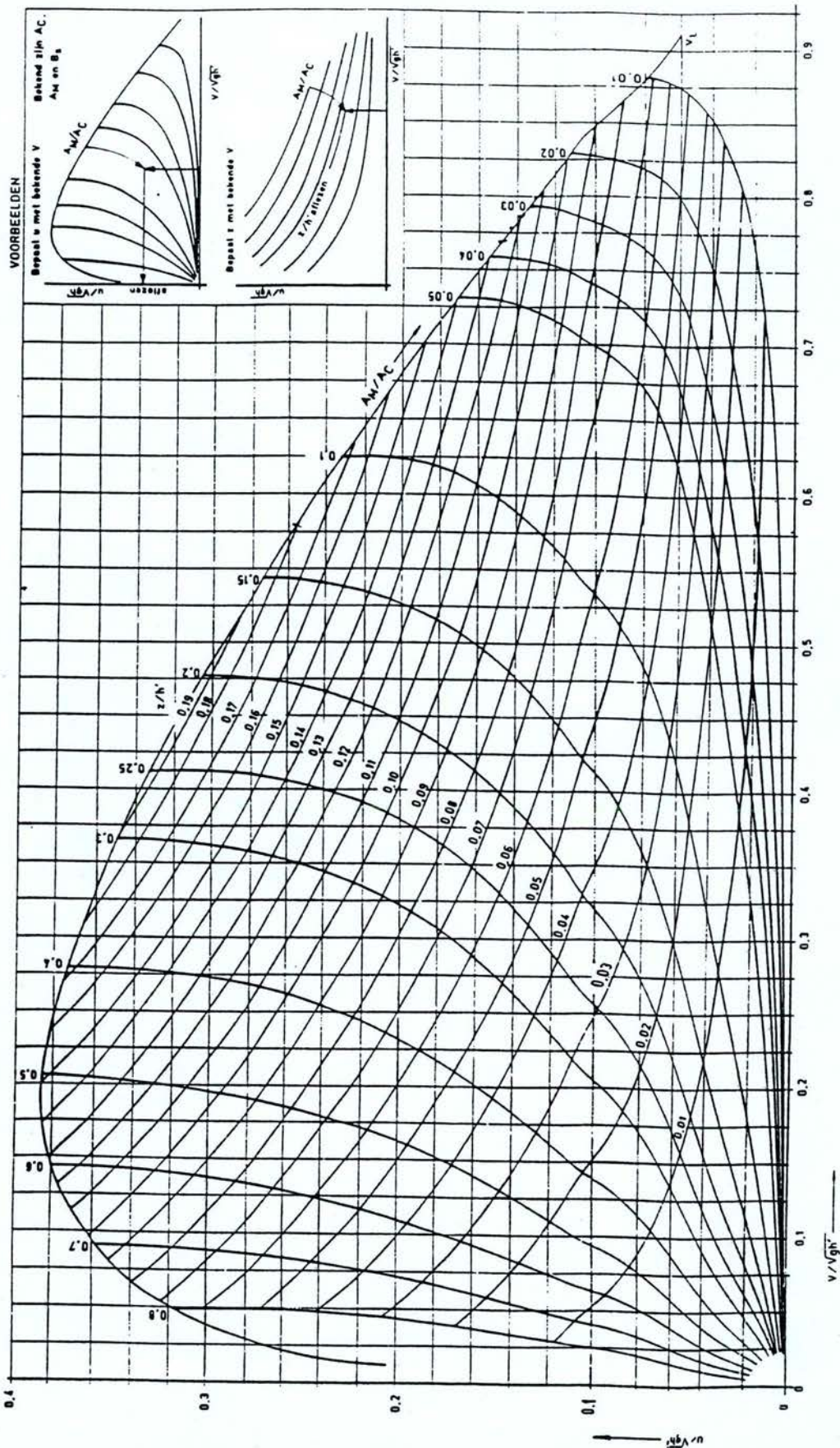
Fig. 25

SCHAAL:

RIJKSWATERSTAAT
DIENST VERKEERSKUNDE
HOOFDAFDELING SCHEEPVAART

get.	gez.
9.5.88	
R.R.	

Nr. S 87.117



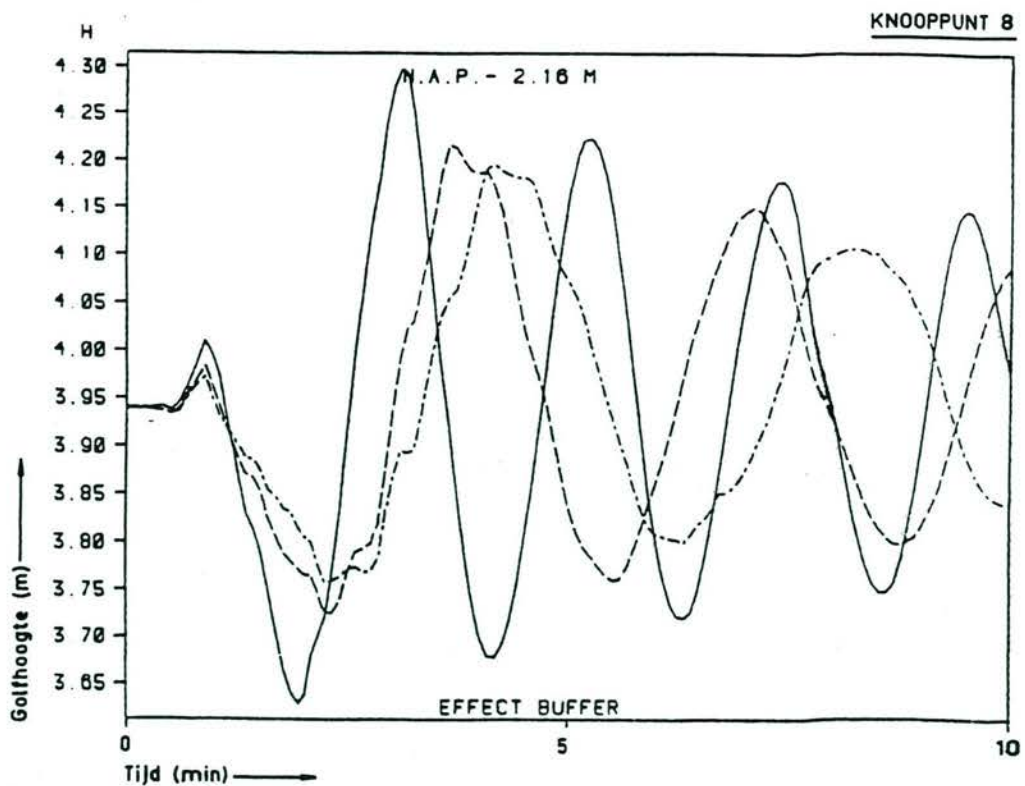
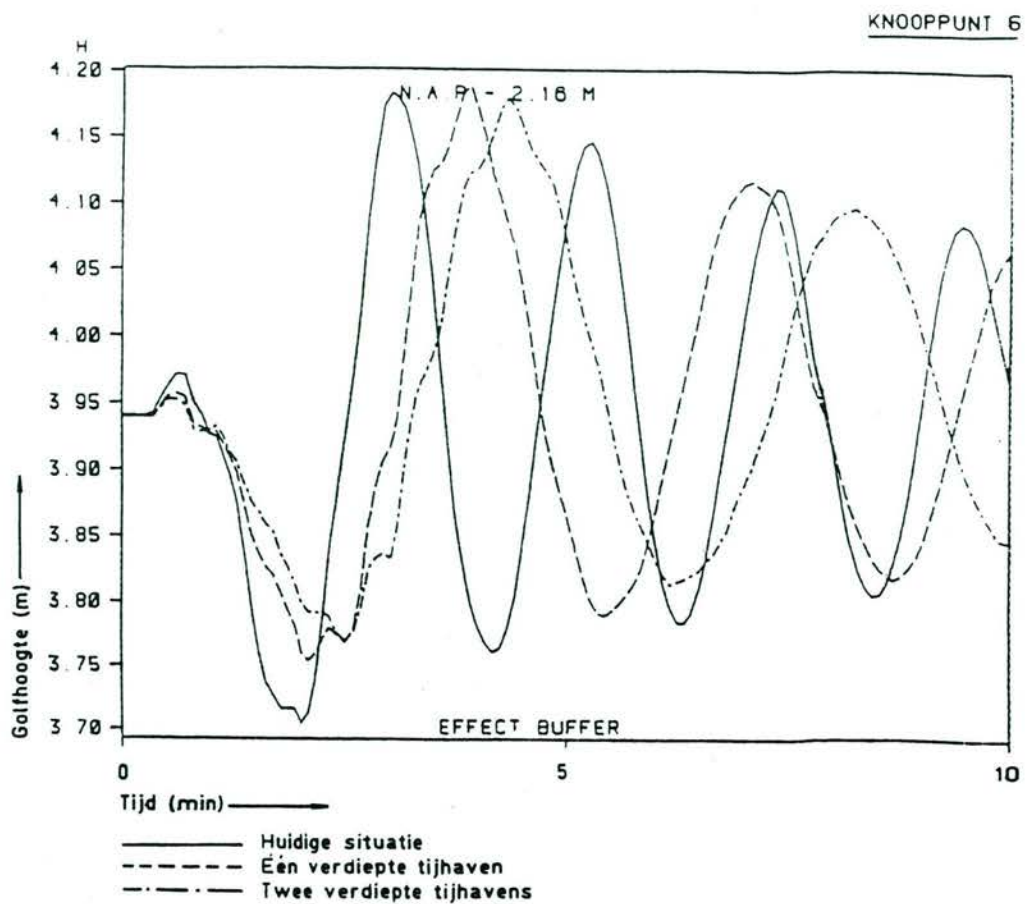
BENADERING WATERBEWEGING VOLGENS SCHIJF

RIJSWATERSTAAT
DIENST VERKEERSKUNDE
HOOFDAFDELING SCHEEPVAART

SCHAAL:

get.	gez.
18.5.88	
R.R.	

Nr. S



INVLOED GEOMETRIE - VERANDERINGEN HAVEN VAN WALSOORDEN
 GEMIDDELD LAAG WATER

Fig. 27

SCHAAL:

get.

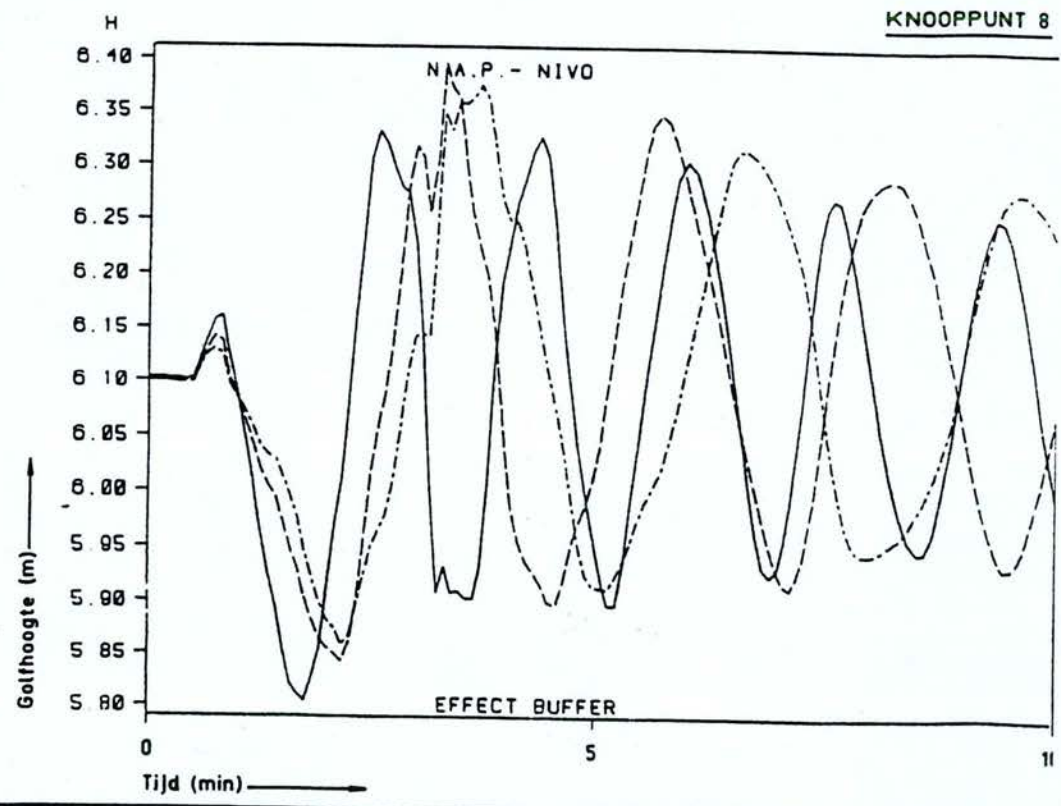
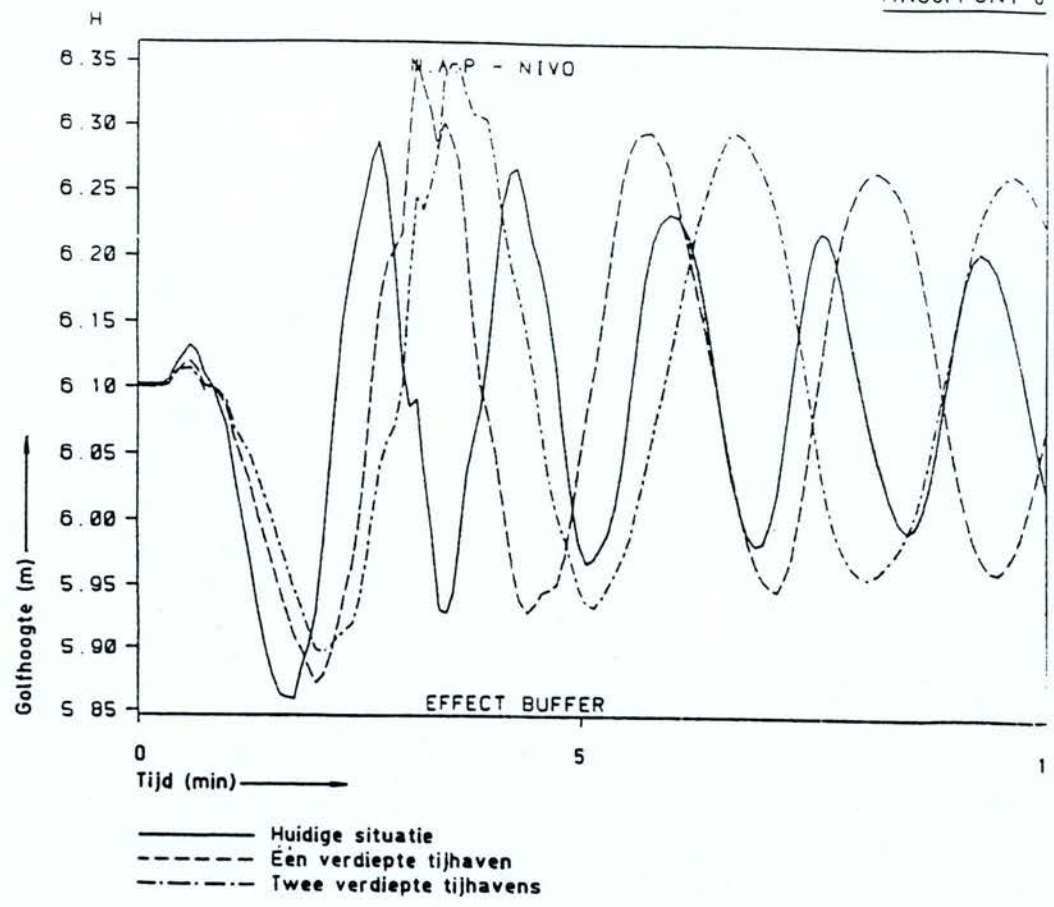
gez.

17.5.88

Nr. S 87.117

R.R.

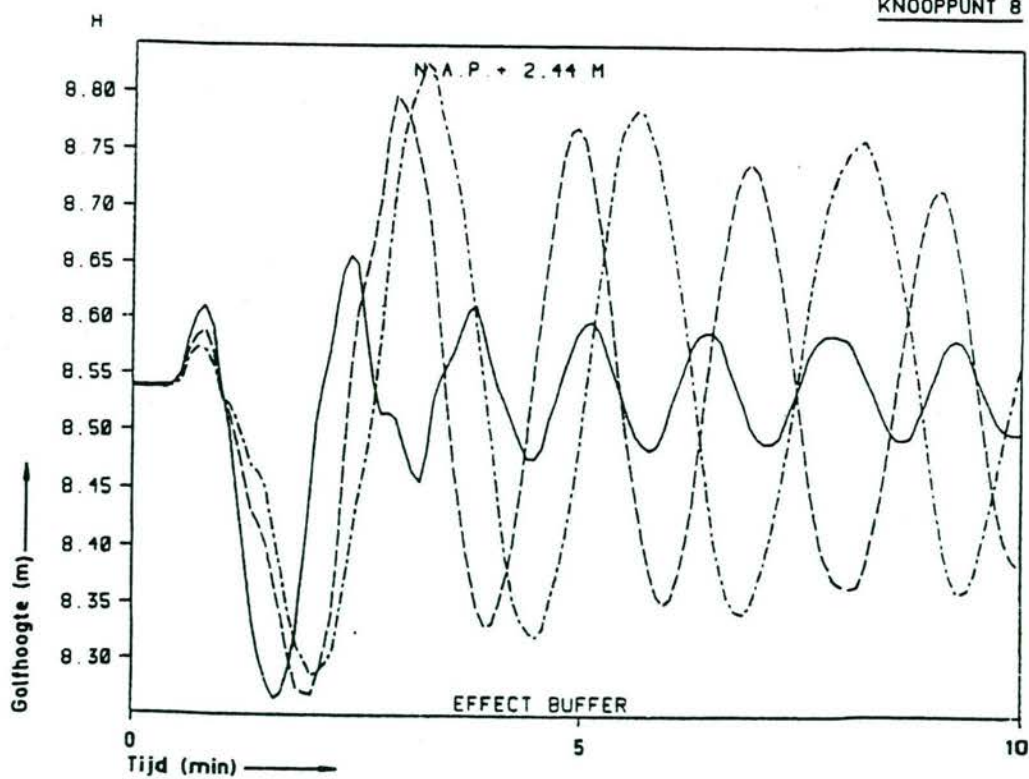
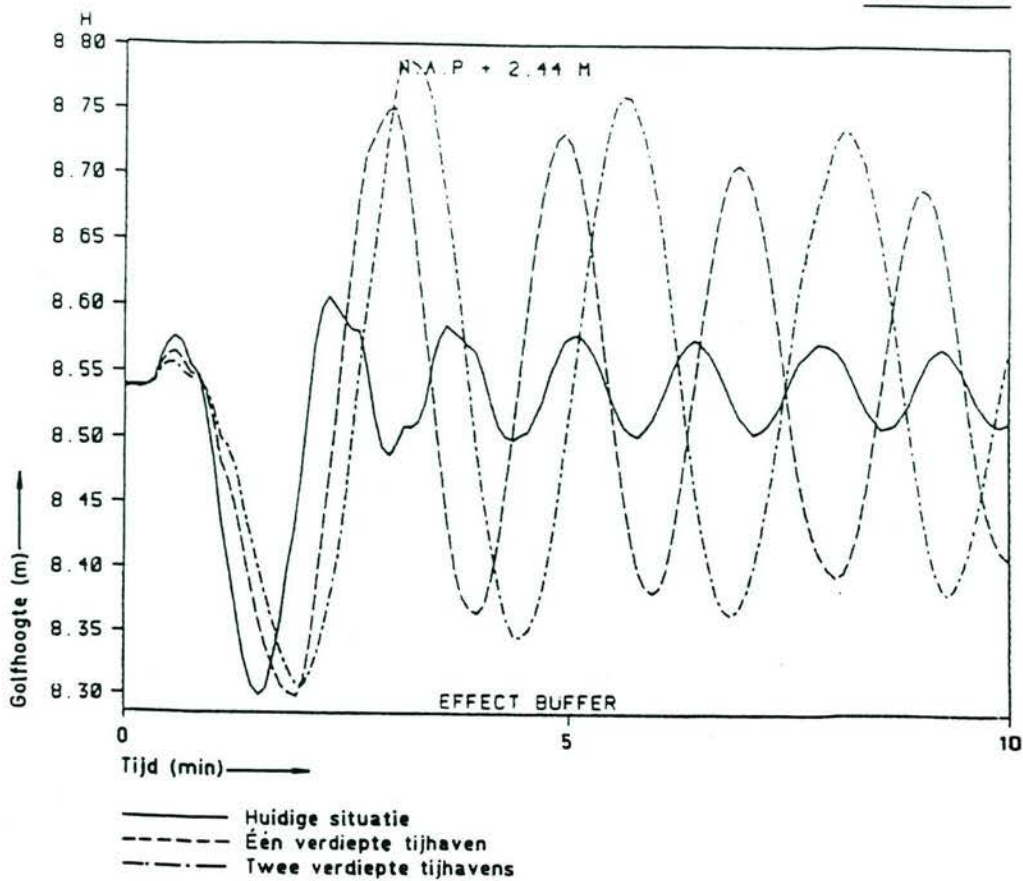
RIJKSWATERSTAAT
 DIENST VERKEERSKUNDE
 HOOFDAFDELING SCHEEPVAART



INVLOED GEOMETRIE - VERANDERINGEN HAVEN VAN WALSOORDEN
GEMIDDELTE WATERSTAND

RIJKSWATERSTAAT
DIENST VERKEERSKUNDE
HOOFDAFDELING SCHEEPVAART

SCHAAL:		Nr. S
get.	gez.	
17.5:88		
R.R.		



INVLOED GEOMETRIE - VERANDERINGEN HAVEN VAN WALSOORDEN
GEMIDDELD HOOG WATER

Fig. 29

RIJKSWATERSTAAT
DIENST VERKEERSKUNDE
HOOFDAFDELING SCHEEPVAART

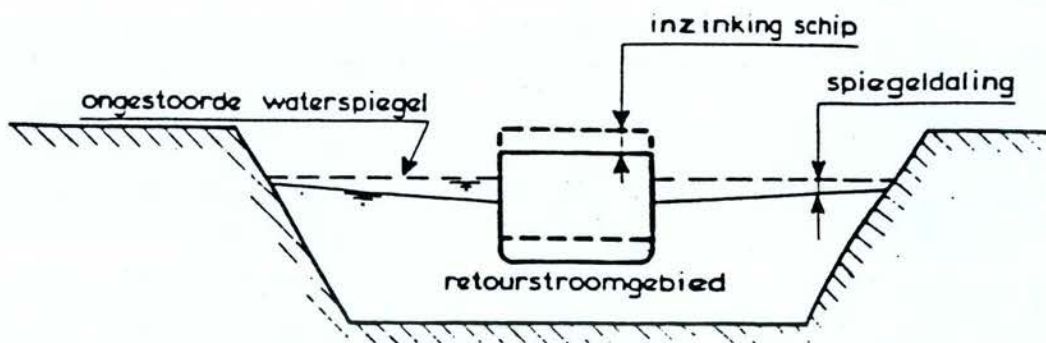
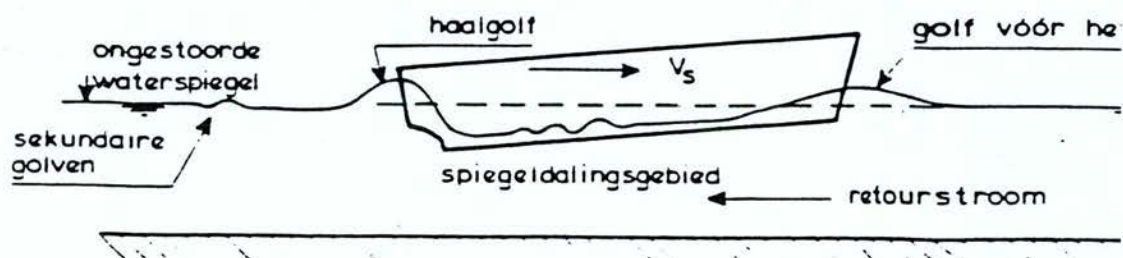
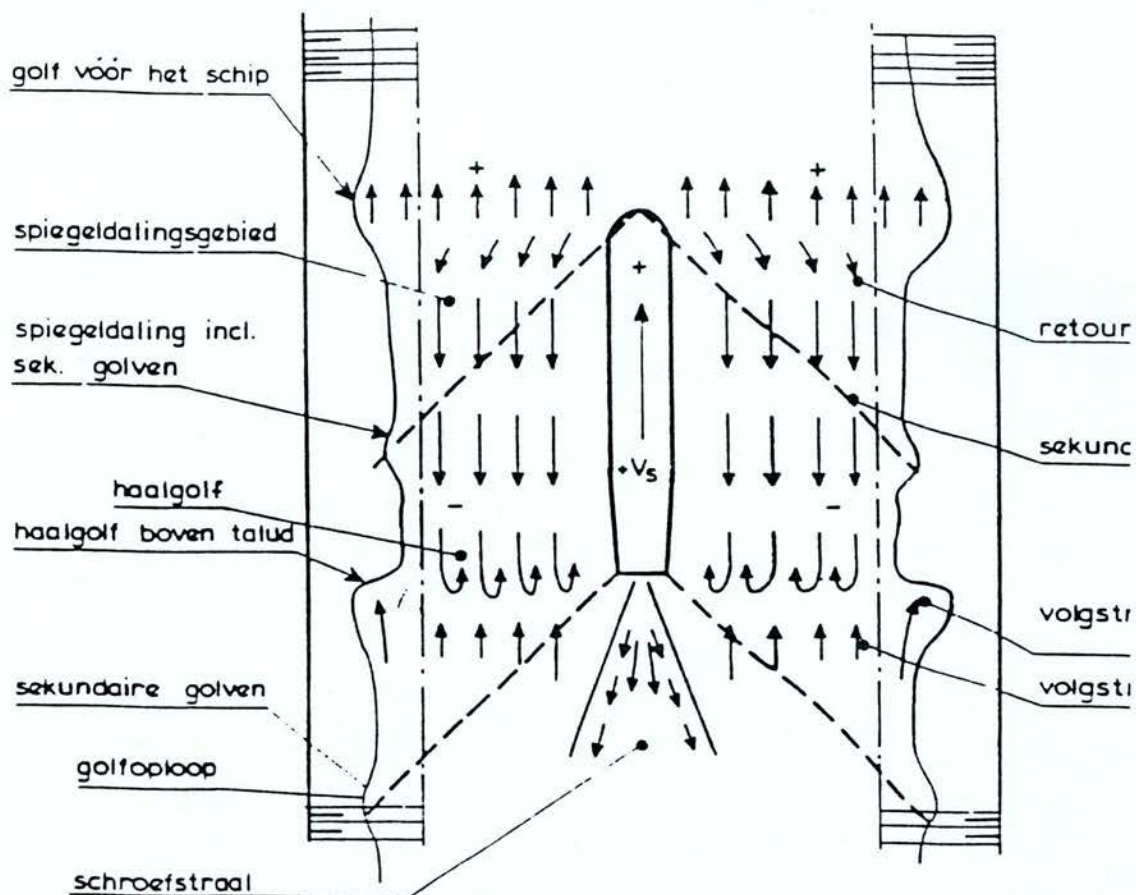
SCHAAAL:

get. 17.5.88

gez.

R.R.

Nr. S 87.117



KOMPONENTEN SCHEEPSGEINDUCEERDE BELASTING

RIJKSWATERSTAAT
DIENST VERKEERSKUNDE
HOOFDAFDELING SCHEEPVAART

SCHAAL:

get.	gez.	Nr. 5
13.4.89		
R.R.		

Voorbeelden van een aantal relevante metingen van de waterbeweging in de Diepe haven ten gevolge van passages van zeeschepen.

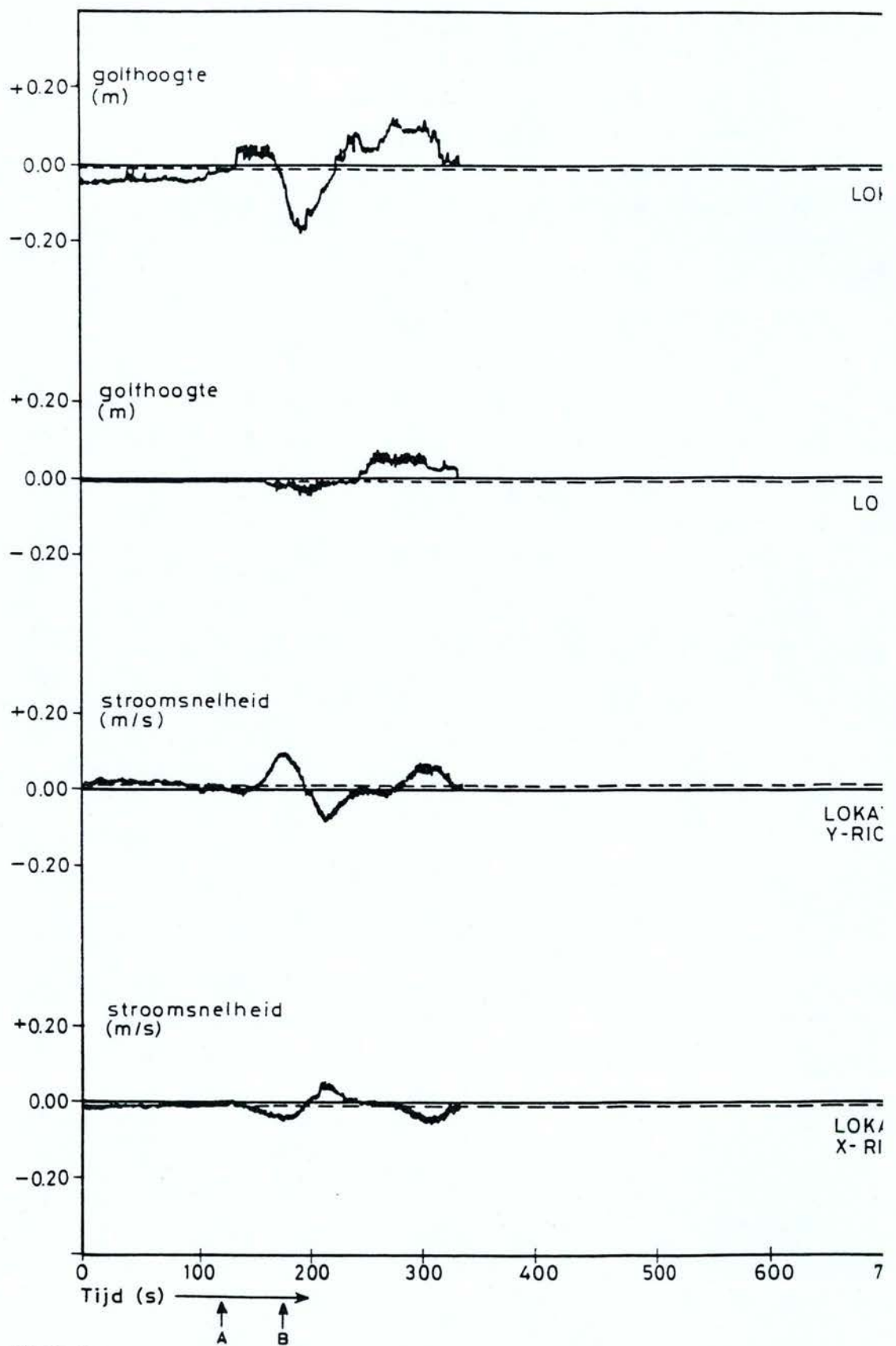
golfhoogtes in A.

golfhoogtes in B.

Stroomsnelheden // Diepe haven in B.

Stroomsnelheden $\perp$ Diepe haven in B.

als funktie van de lokatie van zeeschepen
t.o.v. de haven van Walsoorden in de tijd.



Passage :

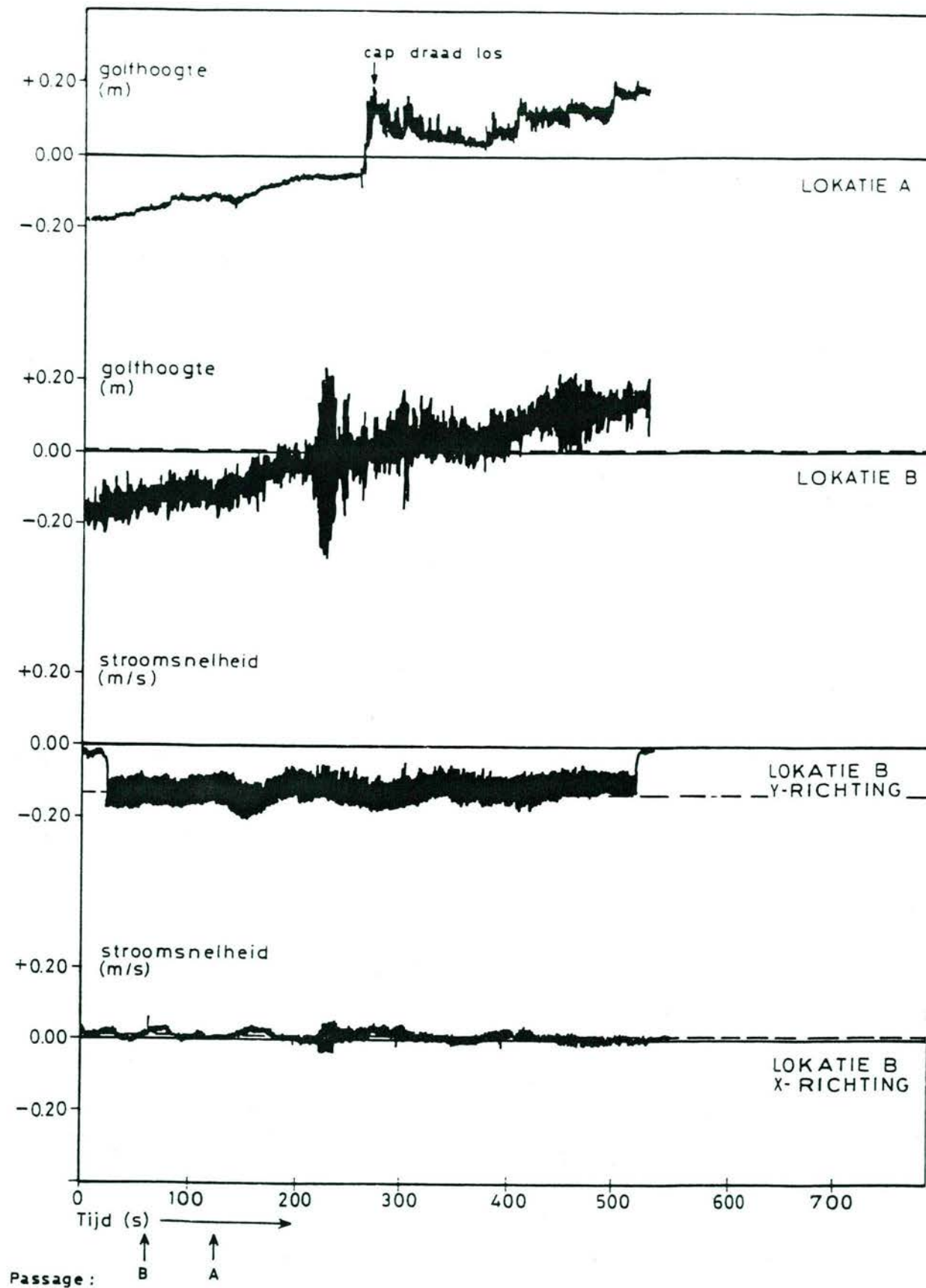
WATERBEWEGING HAVEN WALSOORDEN

WALS 67

SCHAAL:

RIJKSWATERSTAAT
DIENST VERKEERSKUNDE
HOOFDAFDELING SCHEEPVAART

get.	gez.	Nr. S
10.5.88		
R.R.		



WATERBEWEGING HAVEN WALSOORDEN

WALS 611

Fig. B2

SCHAAL

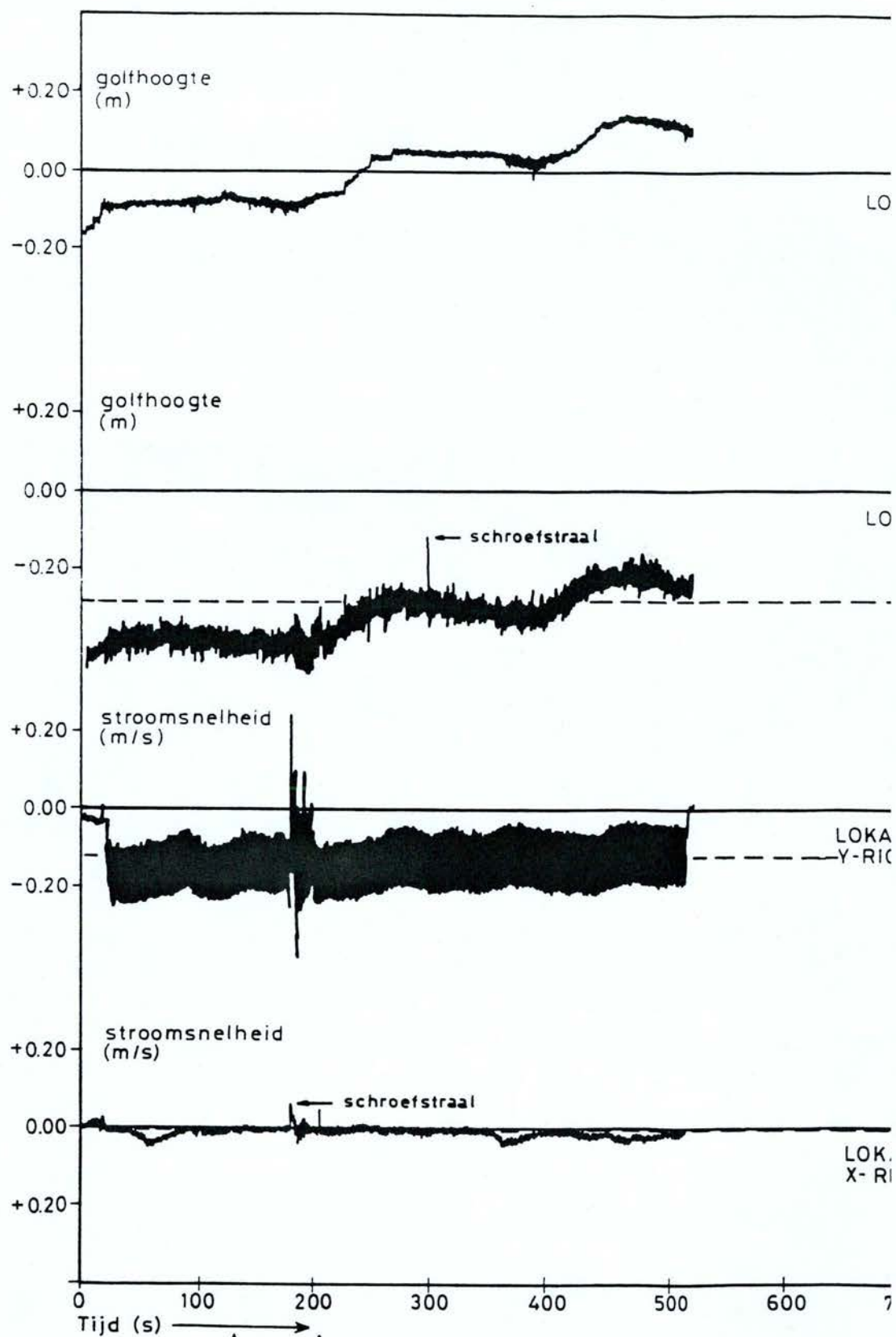
get. gez.

10.5.88

Nr. S 87.117

R.R.

RIJKSWATERSTAAT
DIENST VERKEERSKUNDE
HOOFDAFDELING SCHEEPVAART



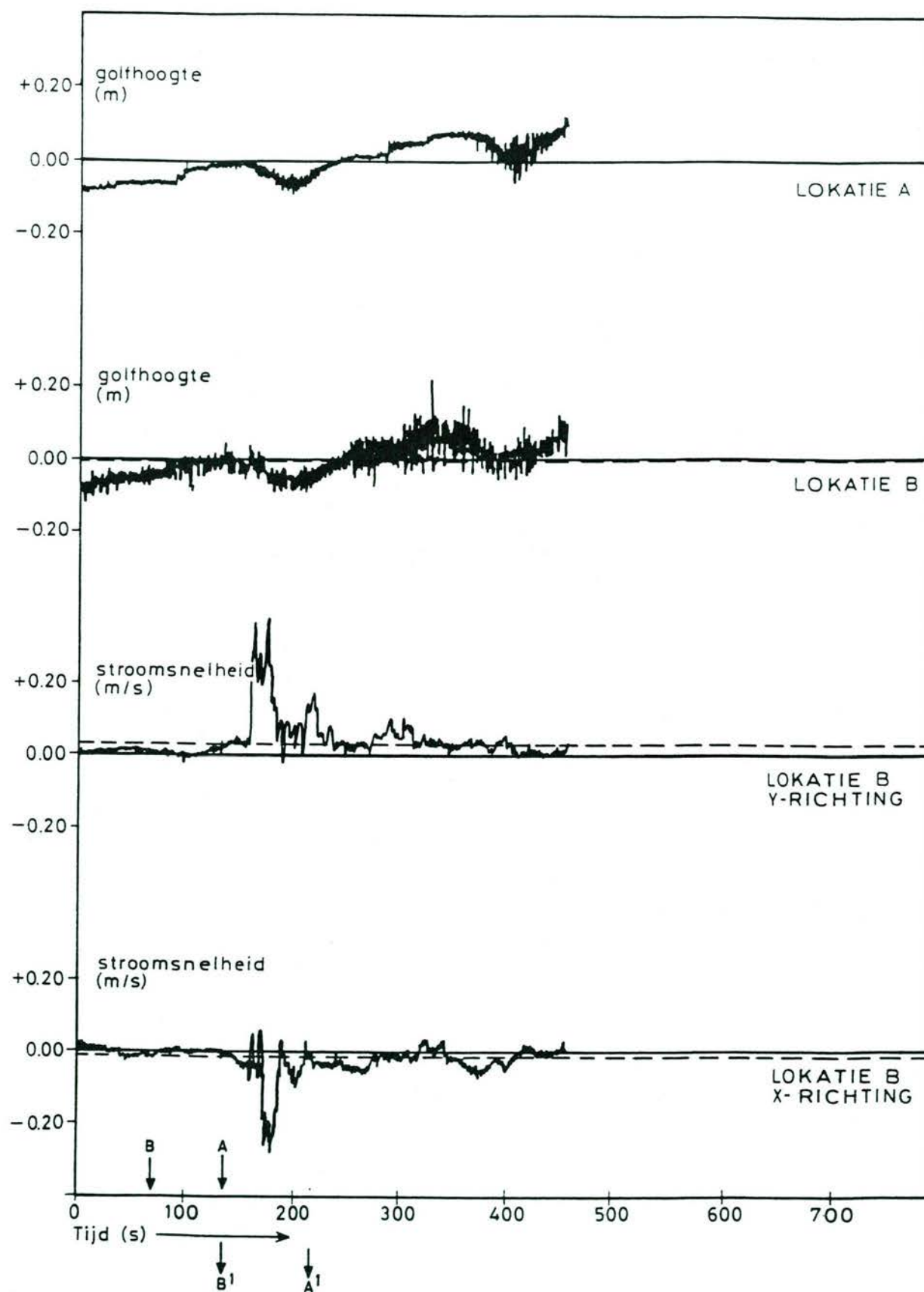
WATERBEWEGING HAVEN WALSOORDEN

WALS 613

SCHAAL:

RIJKSWATERSTAAT
DIENST VERKEERSKUNDE
HOOFDAFDELING SCHEEPVAART

get.	gez.	Nr. S
10.5.88		
R.R.		



Passage :

WATERBEWEGING HAVEN WALSOORDEN

WALS 614

Fig. B4

SCHAAL:

get.

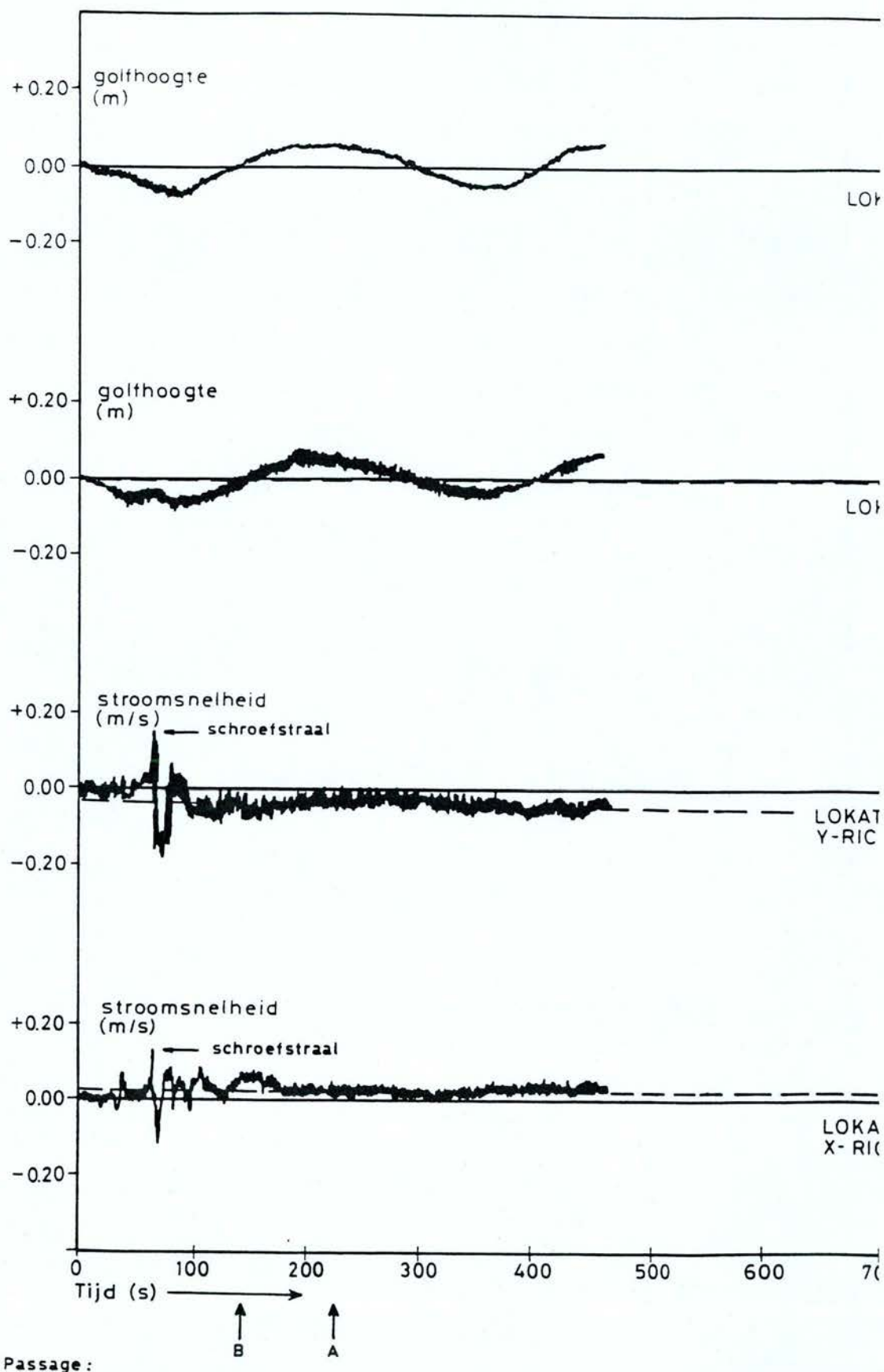
gez.

10.5.88

R.R.

Nr. S 87.117

RIJKSWATERSTAAT
DIENST VERKEERSKUNDE
HOOFDAFDELING SCHEEPVAART



WATERBEWEGING HAVEN WALSOORDEN

WALS 154

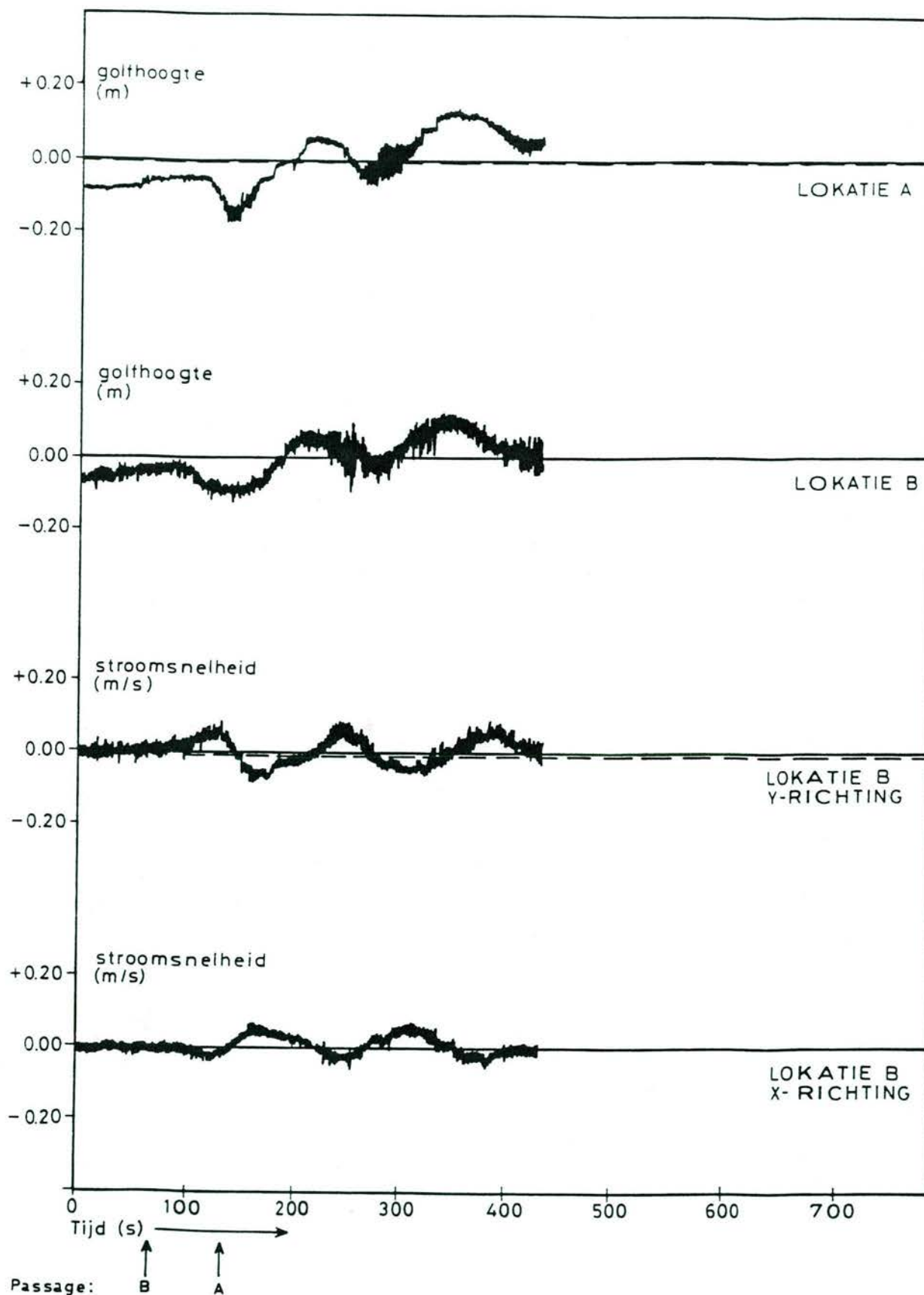
SCHAAL:

RIJKSWATERSTAAT
DIENST VERKEERSKUNDE
HOOFDAFDELING SCHEEPVAART

get.
10.5.88
R.R.

gez.

Nr. S



WATERBEWEGING HAVEN WALSOORDEN

WALS 157

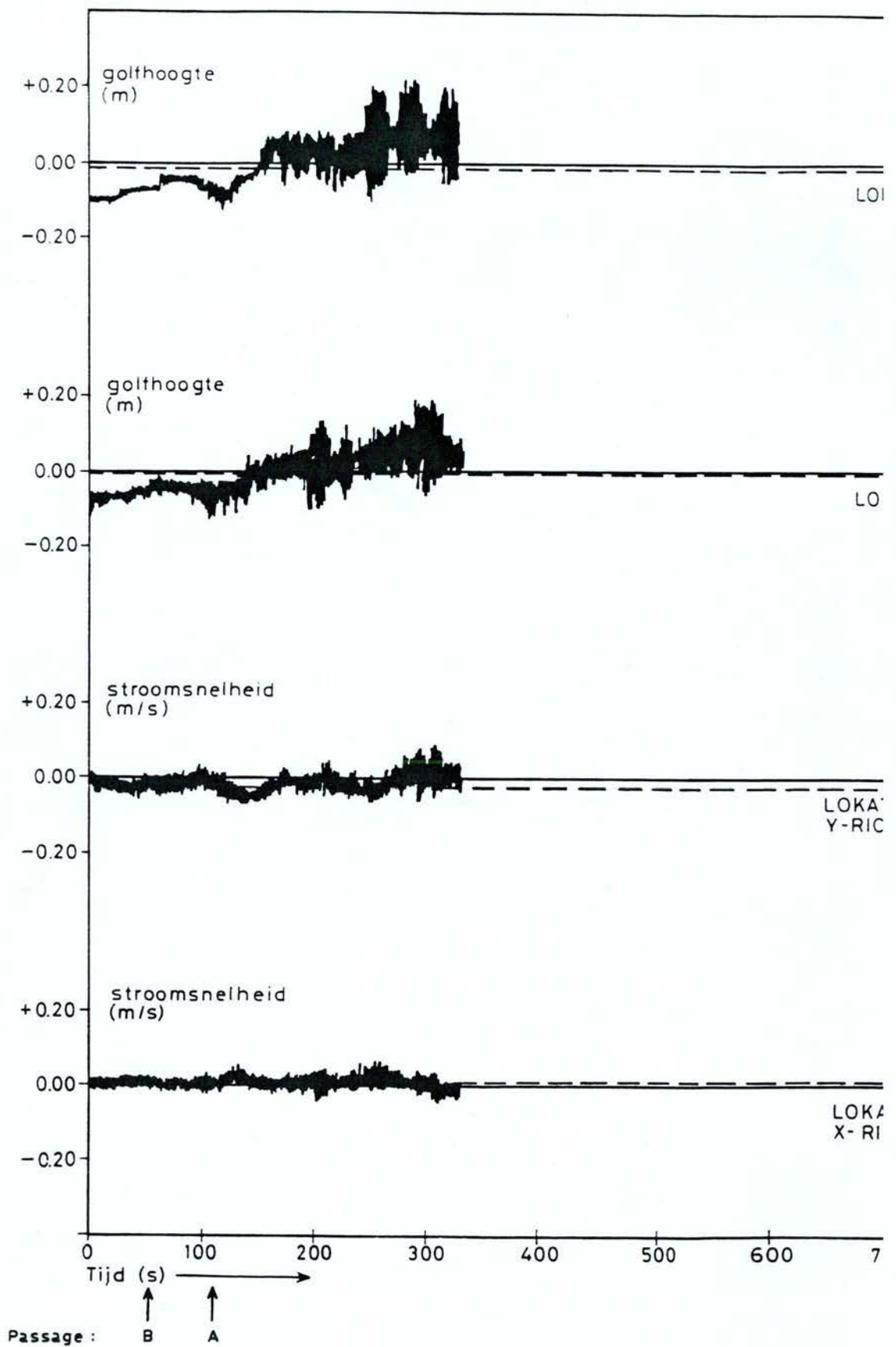
Fig. B 6

SCHAAL:

get.	gez.
10.5.88	
R.R.	

Nr. S 87.117

RIJKSWATERSTAAT
DIENST VERKEERSKUNDE
HOOFDAFDELING SCHEEPVAART



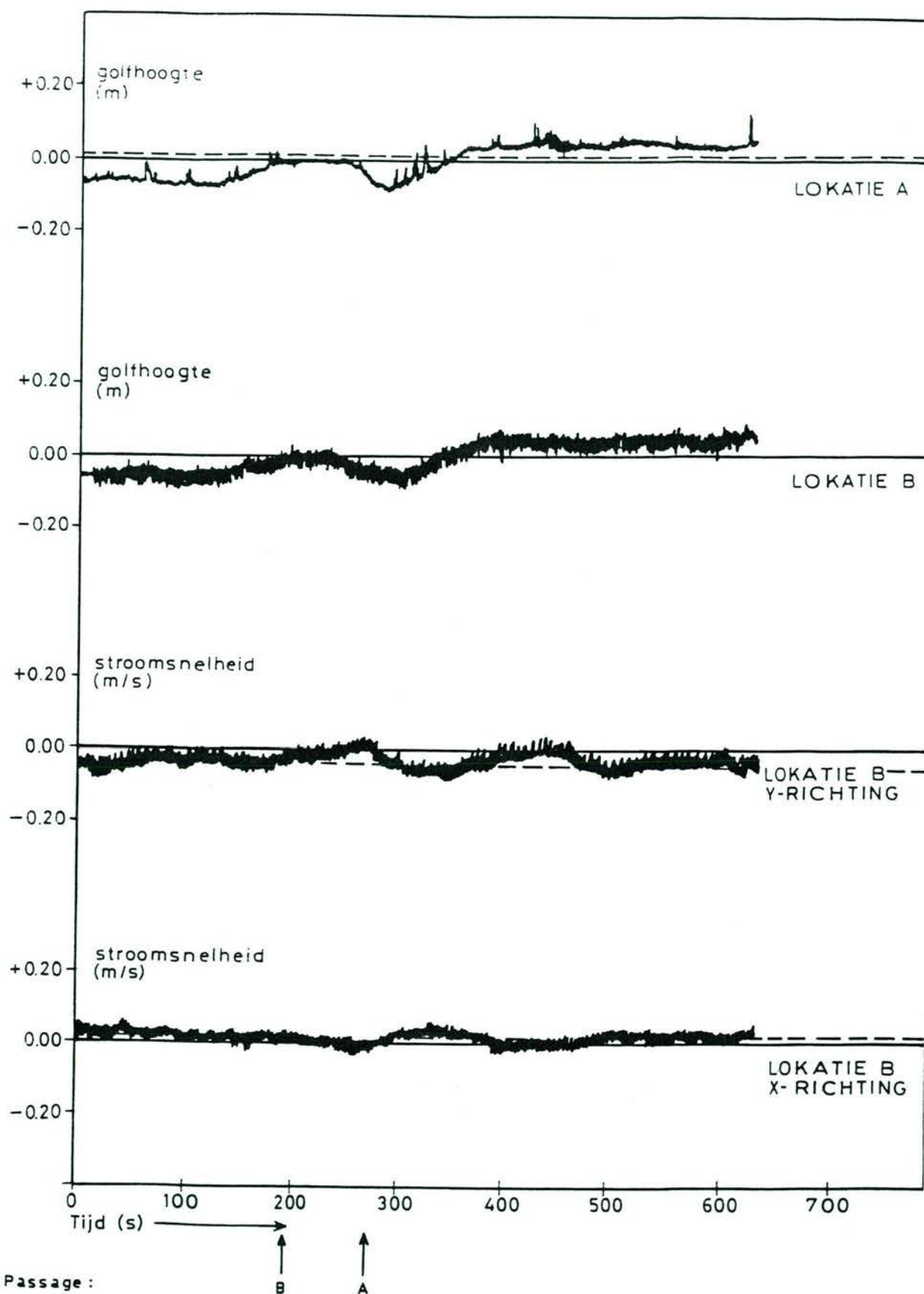
WATERBEWEGING HAVEN WALSOORDEN

WALS 1511

RIJKSWATERSTAAT
DIENST VERKEERSKUNDE
HOOFDAFDELING SCHEEPVAART

SCHAAL

get.	gez.	Nr. S
10.5.88		
R.R.		



WATERBEWEGING HAVEN WALSOORDEN

WALS 173 kal

Fig. B 8

SCHAAL:

RIJKSWATERSTAAT
DIENST VERKEERSKUNDE
HOOFDAFDELING SCHEEPVAART

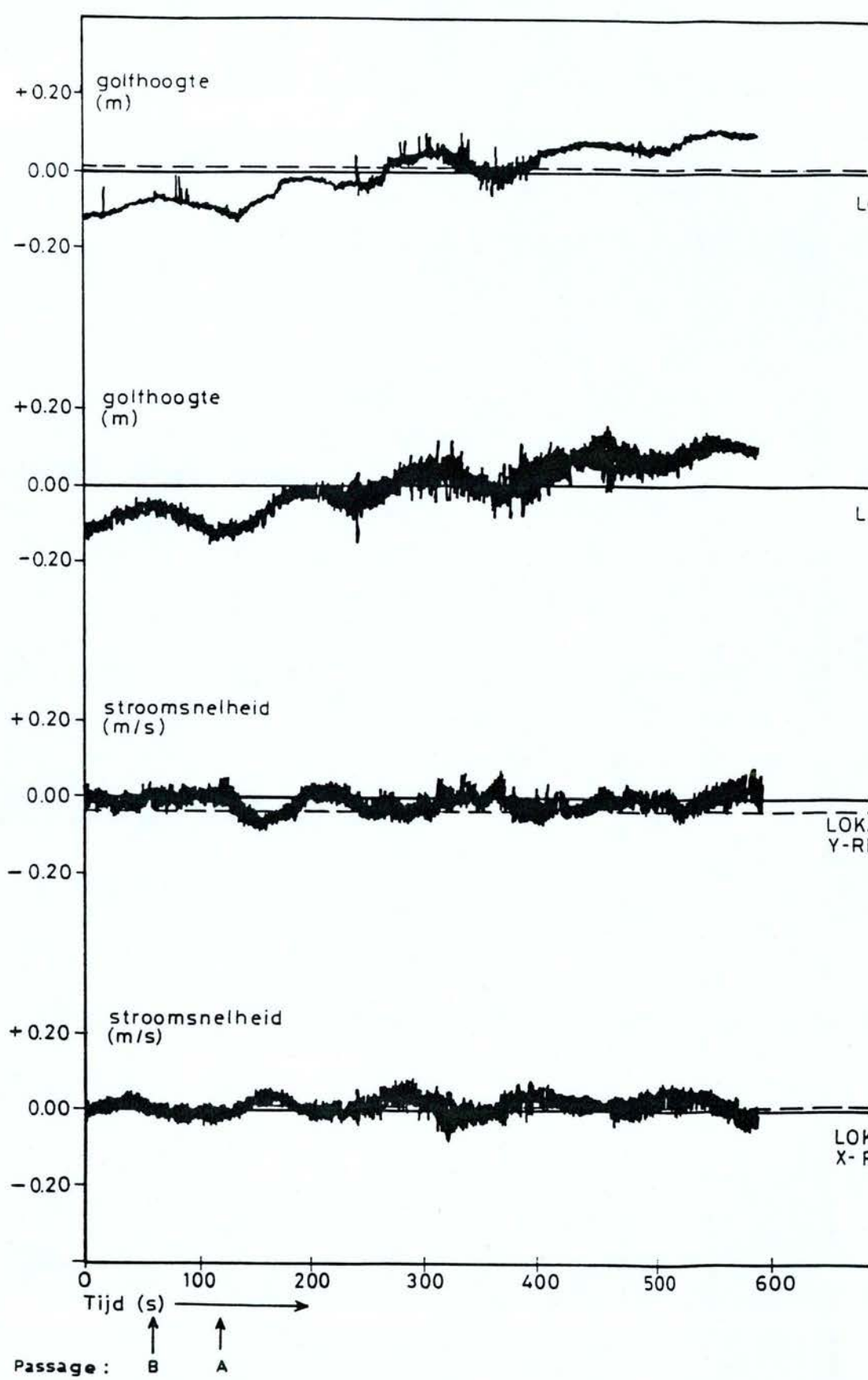
get.

gez.

10.5.88

R.R.

Nr. S 87.117



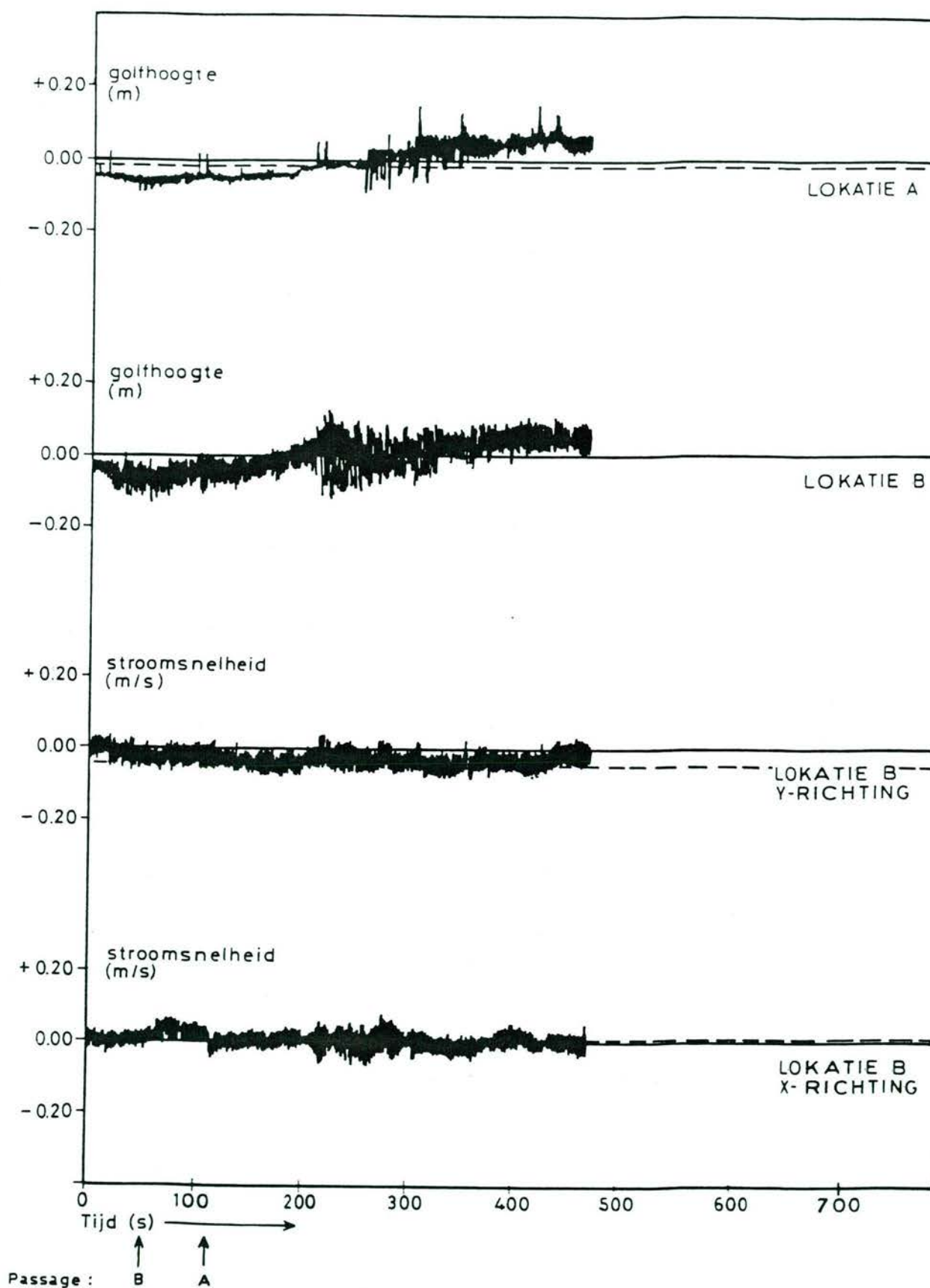
WATERBEWEGING HAVEN WALSOORDEN

WALS 179

SCHAAL:

RIJSWATERSTAAT
DIENST VERKEERSKUNDE
HOOFDAFDELING SCHEEPVAART

get.	gez.	Nr.
10.5.88		
R.R.		



WATERBEWEGING HAVEN WALSOORDEN

WALS 1712

Fig. B 11

SCHAAL:

RIJKSWATERSTAAT
DIENST VERKEERSKUNDE
HOOFDAFDELING SCHEEPVAART

get.	gez.
10.5.88	
R.R.	

Nr. S 87.117

RELEVANTE RELATIES m.b.t. WATERSPIEGELDALING, SEKUNDAIRE GOLVEN, VERHA EN TROSKRACHTEN IN DE DIEPE HAVEN.

1. RELATIES m.b.t. DE WATERBEWEGING EN VERHANGEN IN DE DIEPE HAVEN

Sekundaire golven

In het meerjarig onderzoek "Aantasting van dwarsprofielen in vaarweg- en scheer- ([8]) zijn een aantal relaties gevonden tussen vaarweg- en scheer- karakteristieken enerzijds en waterbeweging anderzijds. De belangrijkste vaarsnelheid (V_s), de natte dwarsdoorsnede van het schip (A_M), dwarsdoorsnede vaarweg (A_C), de gemiddelde diepte in de vaarweg ($\bar{h}$), positie van het schip in de vaarweg (Y). De dimensieloze vorm waar parameters in de gevonden relaties naar voren komen is als volgt:

- de vaarsnelheid en de gemiddelde waterdiepte : $\frac{V_s}{\sqrt{(g \cdot \bar{h})}}$
- de natte dwarsdoorsnedes : $\frac{A_M}{A_C}$
- de positie van het schip en de gemiddelde waterdiepte : $\left(\frac{Y}{\bar{h}} \right)^{-1}$

Hierin is:

- V_s = gemiddelde vaarsnelheid zeeschip (m/s)
- g = zwaartekrachtsversnelling (m/s²)
- $\bar{h}$ = gemiddelde waterdiepte in vaargeul (m)
- = konstante
- A_M = natte grootspant oppervlak zeeschip (m²)
- (Aangenomen: $A_M \approx B_s \times T_s \times \text{beladingsgraad}$)
- A_C = de gemiddelde natte dwarsdoorsnede Westerscheldevaargeul (m²)
- = konstante
- Y = gemiddelde afstand tussen positie zeeschip en de oeverlijn t.p.v. de havenmond (m)

Er is in onderhavige notitie aangenomen dat tussen genoemde p en de maximale gemeten waterbeweging in de Diepe haven een verband is. Om dit verband voor sekundaire golven te vinden zijn alle gemeten hoogtes dimensieloos gemaakt met de gemiddelde waterdiepte in de scheldevaargeul nabij Walsoorden. De aldus verkregen waarden zijn

tegen de parametergroep $\left(\frac{V_s}{\sqrt{gh}}\right) \cdot \left(\frac{A_M}{A_c}\right) \cdot \left(\frac{Y}{h}\right)^{-1}$

De gemiddelde vaargeuldiepte ($\bar{h}$) is slechts gebruikt om waarden dimensioneloos te maken. Deze heeft geen invloed op de uitkomsten. Dit geldt ook voor de gemiddelde natte dwarsdoorsnede ($\bar{A}_c$) van de geschematiseerde Westerschelde t.p.v. Walsoorden. Uit figuur 15 blijkt het volgende verband tussen de maximale gemeten sekundaire golven en bovengenoemde parameters:

$$\left(\frac{H_{s,max}}{\bar{h}}\right) \approx 11,40 \cdot \left(\frac{A_M}{\bar{A}_c}\right) \cdot \left(\frac{V_s}{\sqrt{gh}}\right) \cdot \left(\frac{Y}{\bar{h}}\right)^{-1} + 0,10 \cdot 10^{-2} \quad (1) \quad (-)$$

hierin is:

$H_{s,max}$ = de maximale gemeten amplitude van sekundaire golven in de Diepe haven tijdens en/of na de passage van een zeeschip. De spreiding rond deze relatie v.w.b. de meetresultaten is $\pm 0,20 \cdot 10^{-2}$.

In figuur 16 zijn de in de Diepe haven gemeten sekundaire golven uitgezet tegen de m.b.v. relatie (1) berekende sekundaire golven. Het blijkt dat binnen het aangegeven betrouwbaarheidsinterval resultaten voldoende nauwkeurig berekend kunnen worden.

Konklusies

Uit de metingen blijkt dat de in de Diepe haven optredende sekundaire golven berekend kunnen worden met de relatie:

$$\left(\frac{H_{s,max}}{\bar{h}}\right) \approx 11,40 \cdot \left(\frac{A_M}{\bar{A}_c}\right) \cdot \left(\frac{V_s}{\sqrt{gh}}\right) \cdot \left(\frac{Y}{\bar{h}}\right)^{-1} + 0,10 \cdot 10^{-2}$$

Bij deze relatie hoort een spreiding m.b.t. gemeten waarden van $\pm 0,2 \cdot 10^{-2}$.

Waterspiegelvariatiën en stromingen

De waterspiegelvariatiën (waaronder wordt verstaan de gemeten waterspiegelrijzing c.q. -daling in de Diepe haven t.g.v. de passage van een zee-

schip) zijn bepaald d.m.v. golfhoogtemeters aan het begin van lokatie 1 (halverwege de Diepe haven) en aan het eind van lokatie 1 (aan het einde van de Diepe haven). Voor de positie van lokatie 1 zie figuur 3. Aan het begin van lokatie 1 zijn tevens stroomsnelheden gemeten, circa 1,50 m/s op het wateroppervlak. De meetopstellingen bevinden zich op 0,75 à 1,50 m van de dichtstbijzijnde damwand. Aan het eind van lokatie 1 zijn golfhoogtes gemeten aangezien hier nauwelijks stromingen voor zullen

Waterspiegeldaling/rijzing

Analoog het gestelde in paragraaf 3.2 is v.w.b. de waterspiegeldalingen/rijzingen ook gezocht naar het verband tussen grootspantopvaarsnelheid en afstand uit de oeverlijn enerzijds en de optredende waterspiegeldalingen/rijzingen anderzijds. Daartoe zijn de hiermee behorende parameters tegen elkaar uitgezet in figuur 17. Er is hierbij onderscheid gemaakt voor waterspiegeldalingen/rijzingen aan het begin en eind van lokatie 1. De volgende zaken vallen op:

- (i) Waterspiegeldalingen/rijzingen aan het begin van lokatie 1, lokatie 1 en sekundaire golven, uitgezet tegen de parameters grootspantoppervlak, vaarsnelheid en afstand hebben een vergelijkbaar verband. Slechts helling en ligging verschillen.
- (ii) De aan het eind van lokatie 1 gemeten waterspiegelstijgingen/rijzingen zijn 10% à 20% groter dan die gemeten aan het begin van lokatie 1.
- (iii) Het verband tussen de maximale gemeten waterspiegeldalingen/rijzingen en genoemde parametergroep is:

aan begin lokatie 1:

$$\left(\frac{Z_{\max}}{h} \right) \approx 8,30 \cdot \left(\frac{A_M}{A_c} \right) \cdot \left(\frac{V_s}{\sqrt{gh}} \right) \cdot \left(\frac{Y}{H} \right)^{-1} + 0,05 \cdot 10^{-2} \quad (2)$$

aan eind lokatie 1:

$$\left(\frac{Z_{\max}}{h} \right) \approx 8,30 \cdot \left(\frac{A_M}{A_c} \right) \cdot \left(\frac{V_s}{\sqrt{gh}} \right) \cdot \left(\frac{Y}{H} \right)^{-1} + 0,13 \cdot 10^{-2} \quad (3)$$

Hierin is:

$Z_{\max}$ = de maximale gemeten waterspiegeldaling/rijzing tijdens passage van een zeeschip.

De spreiding rond beide relaties v.w.b. de meetresultaten is $\pm 0,15 \cdot 10^{-2}$

In figuur 18 zijn de in de Diepe haven gemeten waterspiegeldalingen/rijzingen uitgezet tegen de met behulp van de relaties 2 en 3 berekende waterspiegeldalingen/rijzingen. Het blijkt dat m.b.v. genoemde relaties de waterspiegeldalingen/stijgingen voldoende nauwkeurig berekend kunnen worden.

Stroomsnelheden

De tijdens de meetperiode aan het begin van lokatie 1 waargenomen stroomsnelheden in het verlengde van en loodrecht op de Diepe haven zijn erg laag. De stroomsnelheden loodrecht op de Diepe haven zijn i.v.m. de aanwezigheid van een damwand op ongeveer 1,50 m afstand te verwaarlozen. In het verlengde van de Diepe haven zijn tijdens zeeschippassages stroomsnelheden gemeten variërend van 0,01 m/s tot (één keer) 0,36 m/s. Dat deze stroomsnelheden nauwelijks hinder veroorzaken bij langs de kade afgemeerde schepen, kan m.b.v. relatie 4 voor de z.g. "drag-force" (kracht op een objekt omstroomd door water t.g.v. die waterstroming) eenvoudig aangetoond worden:

$$F_D = 1/2 \cdot \rho \cdot D \cdot A_a \cdot U^2 \quad (N) \quad (4)$$

Hierin is:

F_D	= "drag-force"	(N)
ρ	= soortelijk massa van water	(kg/m ³)
C_D	= "drag-koëfficiënt"	(-)
A_a	= aangestroomde oppervlak	(m ²)
U	= maximale stroomsnelheid	(m/s)

In de literatuur ([9]) wordt voor lage Reynoldswaarden (hetgeen hier het geval is) voor de "drag-koëfficiënt ongeveer 1,1 aangegeven. Dan volgt:

$$F_D = 1/2 \cdot 1024 \cdot 1,1 \cdot A \cdot 0,36^2 = 73 \cdot A \text{ (maximaal)}$$

Neem een klasse 5 schip, breedte maal diepgang (geladen) maal beladingsgraad ongeveer

$$11,40 \times 3,60 \times 0,9 = 37 \text{ (m}^2\text{)}$$

$$F_D \approx 270 \text{ kgf (2700 N).}$$

Hieruit blijkt dat de orde-grootte van krachten op het schip door de meting waargenomen stroming erg klein is.

Konklusies

De waterspiegeldaling/rijzing in de Diepe haven t.p.v. de passage van een zeeschip kan m.b.v. de afgeleide relaties goed berekend worden. De relaties zijn:

$$\left(\frac{Z_{\max}}{h} \right) \approx 8,30 \cdot \left(\frac{A_M}{A_c} \right) \cdot \left(\frac{V_s}{\sqrt{gh}} \right) \cdot \left(\frac{Y}{h} \right)^{-1} + X \cdot 10^{-2} \quad (2)$$

X = 0,05 aan het begin van lokatie 1 in de Diepe haven.

X = 0,13 aan het eind van lokatie 1 in de Diepe haven.

Bij deze relaties hoort een spreiding v.w.b. gemeten waarden van 0,15.10⁻². De in de Diepe haven t.g.v. zeeschippassages optredende daire golven zijn groter dan de optredende waterspiegeldalingen/rijzen. De aan het begin van lokatie 1 gemeten stroomsnelheden zullen slechts een klein aandeel hebben in de hinder veroorzaakt bij afgemeerde schepen.

Verhangen in de haven

Tijdens de passage van een zeeschip is tevens bepaald welke verhangen er maximaal over lokatie 1 in de Diepe haven optreden t.g.v. het inlopen van een lange golf. Deze maximale verhangen zijn van belang voor de afschatten van troskrachten welke kunnen optreden in de trossen bij lokatie 1 afgemeerde schepen. Aan de hand van deze geschatte troskrachten kan een uitspraak te doen omtrent de effectieve hinder t.g.v. waterbewegingen van passerende zeeschepen.

Om de door een verhang in het wateroppervlak over lokatie 1 optredende troskrachten te kunnen afschatten dient naast de grootte en tijdsduur van dit verhang informatie te worden verkregen omtrent:

- afmetingen en gewicht afgemeerd schip;
- afmeermethodiek (hoeveel trossen, hoe lang en hoe uitgezet, alle trossen (even) strak of slap, etc.);
- afmetingen en kwaliteit trossen.

Er is tijdens deze meting alleen informatie verkregen over hetgeen bij het eerste aandachtstreepje vermeld staat en deels over hetgeen bij het tweede aandachtstreepje staat. Door het ontbreken van de overige informatie kunnen de gemeten verhangen slechts globaal gebruikt worden om troskrachten af te schatten.

De maximale verhangen over lokatie 1 zijn bepaald door de aan het begin en eind van lokatie 1 gemeten waterspiegeldalingen/stijgingen op dezelfde tijdstippen met elkaar te vergelijken. De grootste op een zelfde tijdstip gedurende minimaal 30 seconden optredende verschillen zijn de hier genoemde maximale verhangen. Ook hierbij is, analoog aan het gestelde in paragraaf 3.2 en 3.3, gezocht naar een verband tussen het grootspantoppervlak, vaarsnelheid en afstand tot de oeverlijn enerzijds en de gemeten verhangen anderzijds. Hiertoe zijn in figuur 19 de gemeten maximale verhangen over lokatie 1 uitgezet tegen de genoemde parameters, zoals dit in de vorige paragrafen ook gebeurd is voor de sekundaire golven en de waterspiegeldalingen/rijzingen. Het blijkt dat, binnen een bepaalde spreiding, ook hier een lineair verband bestaat tussen genoemde parameters enerzijds en de maximale verhangen over lokatie 1 in de Diepe haven anderzijds. De voor dit verband afgeleide functie luidt:

$$\left(\frac{\Delta H_{\max}}{L_{\text{lok1}}} \right) \approx 1,50 \cdot \left(\frac{AM}{Ac} \right) \cdot \left(\frac{Vs}{\sqrt{gh}} \right) \cdot \left(\frac{Y}{h} \right)^{-1} - 1,00 \cdot 10^{-4} \quad (5)$$

Hierin is:

$\Delta H_{\max}$ = het over lokatie 1 maximaal gemeten verhang in het wateroppervlak gedurende minimaal 30 seconden (m)

L_{lok1} = de lengte van lokatie 1 (≈ 110 meter) (m)

Zowel de helling als de ligging van relatie (5) is lager dan die gevonden bij de sekundaire golven (1) en bij de waterspiegeldalingen/rijzingen (2) en (3). De spreiding in de meetresultaten is $\pm 1,8 \cdot 10^{-4}$.

In figuur 20 zijn de gemeten verhangen over lokatie 1 uitgezet tegen de m.b.v. relatie (5) berekende verhangen uitgezet. Binnen de aangegeven spreiding is relatie (5) voldoende nauwkeurig.

2. RELATIES m.b.t. TROSKRACHTEN t.g.v. WATERBEWEGINGEN EN HET VERHAAL AFGEMEERDE SCHEPEN IN DE DIEPE HAVEN.

Uitgaande van de relatie troskracht - verhang (zie relatie (hoofdstuk 4), is in figuur 22 het verband gegeven tussen de hiervoor gegeven scheepskarakteristieken en de gemeten troskrachten, voor een aantal gevallen. Er lijkt voor kleinere troskracht (tot 2,0 kN) een lineair verband te zijn. Echter gezien het beperkte aantal metingen is de onzekerheid in de uitkomst groot.

Eenvoudiger is het te bekijken welke waarden de hiervoor reeds gebruikte parametergroep tijdens de totale meetserie in Walsoorden aangenomen, vergeleken met de gemeten troskrachten en vergeleken met de waarden van diezelfde parametergroep, voor zeeschepen die ongevallen hebben gehad in de haven.

Tijdens de troskrachtmetingen zijn troskrachten gemeten variërend van 0,0 tot 4,5 kN, tijdens passages van zeeschepen.

De waarden van de parametergroep $\left(\frac{A_M}{A_C} \right) \cdot \left(\frac{V_S}{\sqrt{gh}} \right) \left(\frac{Y}{h} \right)^{-1}$ lagen hierbij tussen 0,0 en $8,0 \cdot 10^{-4}$.

Ter vergelijking zijn de waarden voor deze parameters van een aantal "ongevallen zeeschepen" uit de periode 1978 t/m 1986 hieronder weergegeven:

- Barber Texas	:	$\left(\frac{A_M}{A_C} \right) \cdot \left(\frac{V_S}{\sqrt{gh}} \right) \cdot \left(\frac{Y}{h} \right)^{-1}$	≈	$16,2 \cdot 10^{-4}$
- Conveyor	:		≈	$13,6 \cdot 10^{-4}$
- Zweedse Auto-carrier:			≈	$17,4 \cdot 10^{-4}$

De enige konklusie die hieruit te trekken is, is dat genoemde "ongevallen zeeschepen" grotere troskrachten zullen hebben veroorzaakt dan nu tijdens de meetserie maximaal gemeten.

Konklusies

De verhangen die over lokatie 1 in de Diepe haven optreden tijdens de passages van zeeschepen kunnen m.b.v. de volgende relatie berekend worden:

$$\left(\frac{\Delta H_{\max}}{L_{\text{lok1}}} \right) \approx 1,50 \cdot \left(\frac{A_M}{A_c} \right) \cdot \left(\frac{V_s}{\sqrt{gh}} \right) \cdot \left(\frac{Y}{h} \right)^{-1} - 1,00 \cdot 10^{-4}$$

Bij deze relatie hoort een spreiding v.w.b. de gemeten waarden van $\pm 1,8 \cdot 10^{-4}$.

In de voorgaande paragraaf van deze bijlage is aangegeven dat, voor de lokale situatie te Walsoorden, relaties zijn te leggen tussen de (dimensieloos gemaakte) scheepsvaarsnelheid (V_s), de afstand schip - oeverlijn (Y), het natte grootspant oppervlak van het zeeschip (A_M) en de in de haven optredende waterbeweging.

Een aantal meetresultaten waarop deze relaties gebaseerd zijn, zijn in bijlage 1 gegeven.

