



VIERBAKSDUWVAART OP
DE WESTERSCHELDE
Notitie S.91.245



VIERBAKSDUWVAART OP

DE WESTERSCHELDE

Notitie S.91.245

Rotterdam
Adviesdienst Verkeer en Vervoer
april 1993

INHOUDSOPGAVE

1. INLEIDING
2. LITERATUURSTUDIE NAAR KRACHTEN
IN KOPPELDRADEN
3. SCHEEPSONGEVALLEN
4. PROGNOSE VIERBAKSDUWVAART
5. PRAKTIJKONDERZOEK
6. KONKLUSIES

1. INLEIDING

De gebruikelijke vaarroute voor vierbaksduwvaart van Rotterdam naar de havens aan de Westerschelde o.a. Terneuzen/ Vlissingen loopt via de Oude Maas, Kil, Haringvliet, Volkerak, Schelde Rijn Verbinding en de Westerschelde. Het Kanaal door Zuid Beveland zal naar verwachting eind 1993 verbreed en geschikt zijn voor de vierbaksduwvaart.

De vaarroute van Rotterdam naar Terneuzen etc. is dan via het Kanaal door Zuid Beveland ca. 45 km korter ofwel een besparing van de vaartijd met ca. 2 a 3 uur. Het is aannemelijk dat de duwvaart aan de route door het Kanaal door Zuid Beveland de voorkeur zal geven, hetgeen zal inhouden dat het verkeer op de Westerschelde tussen Hansweert en Terneuzen v.v. toeneemt.

De toenmalige regio Scheldemond van DGSM, thans Rijkswaterstaat directie Zeeland afdeling NWM, verantwoordelijk voor het nautisch beheer en de veiligheid van de scheepvaart op de Westerschelde, voorziet, na het gereedkomen van de verbreding van het Kanaal door Zuid Beveland, een aantal mogelijke problemen m.b.t. de verkeersafwikkeling tussen de zeevaart en de vierbaksduwvaart op de Westerschelde. Vandaar dat de Dienst Verkeerskunde, is verzocht om een onderzoek uit te voeren naar bovengenoemde problematiek.

Het DVK onderzoek zal de volgende aspecten behandelen:

- = interactie zeevaart en binnenvaart op de Westerschelde
- = een literatuuronderzoek naar de krachten in koppeldraden
- = een inventarisatie van scheepsongevallen waarbij duweenheden betrokken zijn
- = uit interviews een inventarisatie van de huidige en te verwachten problemen opstellen, zoals
 - hinder van windgolven
 - golfslag van passerende scheepvaart
 - breken koppelingsdraden
 - padbreedte in nauwe vaartrajekten
 - hinderlijke stroom tijdens in- en uitvaren (voor)havens
 - uitrusting duwbotten (vermogen)
 - vaardiscipline

Uit bovenstaand onderzoek zal worden aangegeven bij welke geïnventariseerde onderdelen de veiligheid van de vaart op de Westerschelde in het geding komt, gevolgd door eventuele conclusies.

2. LITERATUURSTUDIE NAAR KRACHTEN IN KOPPELDRADEN.

Voor het verkrijgen van meer inzicht betreffende de optredende krachten in de koppeldraden van duwcombinaties is een literatuuronderzoek uitgevoerd.

Uit dit onderzoek zijn de volgende publicaties geselecteerd:

- [1] Naturgrosse Untersuchungen des ein- und mehrspurigen Schubverkehrs auf dem Rhein, wobei das Grossmotorschiff das Streckenschubboot ersetzt.
VBD Bericht nr 1198
- [2] Ermittlung von Kupplungskräften bei Tandemverbänden in Seegang.
Gerth, L.
Seewirtschaft, Berlin 19, 1987, nr 7.
- [3] Zu Problemen der Navigation und der technischen Ausführung von gelenkverbänden - eine Ergänzung zum Beitrag 'Fur und Wider zum Gelenkverband aus fahrdynamischer Sicht'.
Frank, W.
Seewirtschaft, Berlin 20, 1988, nr 9.
- [4] Naturgrosse Untersuchungen zur Ermittlung der Kräfte in den gelenkverbindungen zwischen zwei Schiffen und des Fahrverhaltens solcher Schubgelenkverbände.
Zöllner, J.
Zeitschrift für Binnenschifffahrt und Wasserstrassen, nr 3, mei 1989
- [5] Zu den Wechselbeziehungen zwischen den Kupplungsvorrichtungen eines Schubverbandes und ihren Belastungen.
Frank, W.
Binnenschifffahrt Nr 10, mei 1991.

Koppelkrachten kunnen onderverdeeld worden in een statisch en een dynamisch deel. Meestal is de dynamische component veruit overheersend.

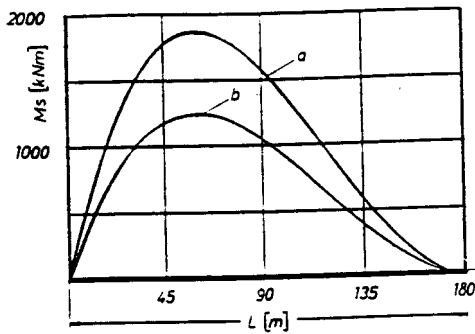
De koppelkrachten worden bepaald door:

- * afmetingen en waterverplaatsing van de eenheid;
- * dwars- en rotatiesnelheid en -versnellingen van de eenheid;
- * plaats van de koppeling (fig 1, blz 5);
- * geometrie van de koppeling (langs-, dwars-, kruisdraden);
- * rek en voorspanning van de draden en, daarmee samenhangend, de speling tussen de bakken (fig 2, blz 5);
- * uitwendige krachten (o.a. golven).

De optredende snelheden en versnellingen hangen vanzelfsprekend zeer nauw samen met de manoeuvreercapaciteit van het verband, en daarmee met o.a. de door het roer opgewekte dwarskracht (fig 1, blz 5), de roerlegsnelheid en -versnelling (fig 3, blz 5) en het motorvermogen. Indien de roerleg-frequentie in de buurt komt van de eigenfrequentie van het verband, kan de dynamische component in de optredende krachten zeer groot worden (fig 4. blz 5).

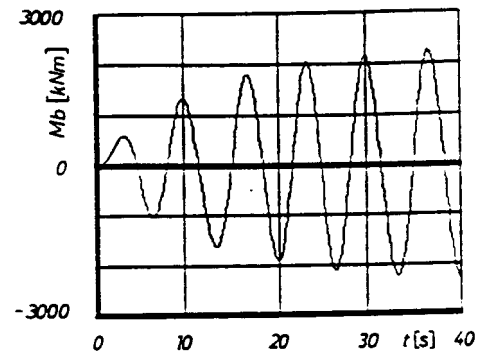
Koppelkrachten worden dus veroorzaakt door:

- *aanstootkrachten (roer, golven);
- *terugstelkrachten (veerkracht van koppel-elementen);
- *traagheidskrachten (massatraagheid);
- *dampingskrachten (hydraulische weerstand- en wrijvingskrachten, en materiaaldampingskrachten);
- *overige (voorspanning, constructie afhankelijke zaken).



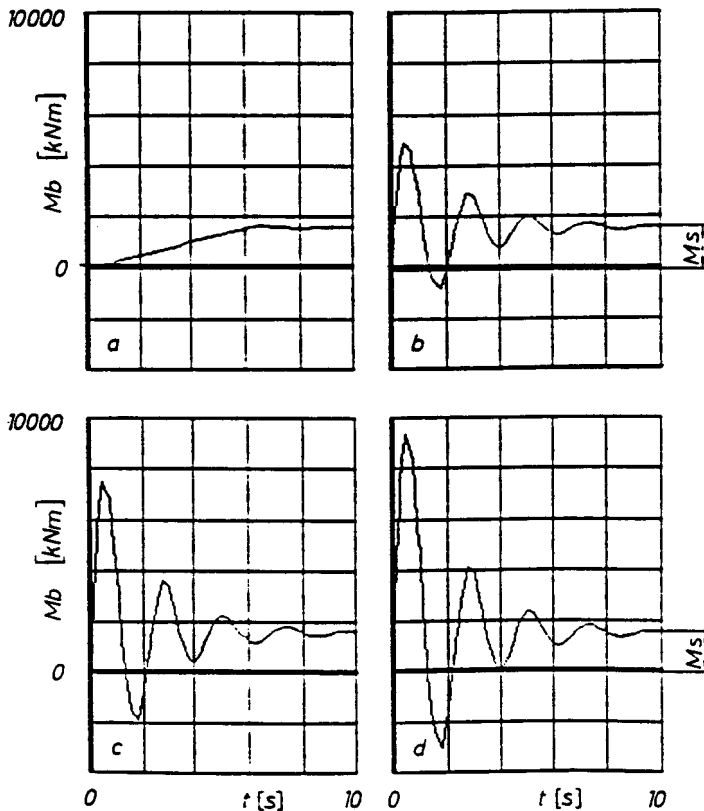
Verlauf des statischen Kupplungsmomentes M_s über der Verbandslänge L : a) für eine Ruderquerkraft $F_r = 70$ kN; b) für $F_r = 50$ kN

Figuur 1



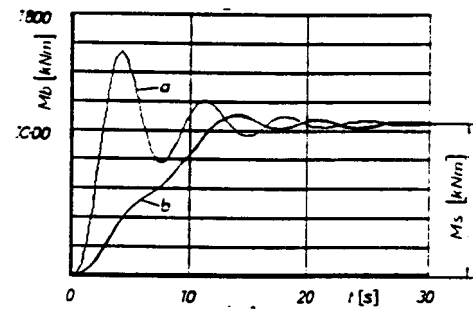
Aufschaukeln des Belastungsmomentes durch Resonanzeinfluß

Figuur 3



Einfluß mechanischer Spiele auf das Belastungsmoment: a) ohne Spiel; b) 5 mm, c) 10 mm, d) 20 mm Spiel

Figuur 2



Einfluß der Ruderlegegeschwindigkeit auf das Belastungsmoment: a) schnelles Rudern, b) langsames Rudern

Figuur 4

In [1] zijn voor twee duwcombinaties de optredende koppeldraadkrachten gemeten bij zig-zag proeven. Voor een duwend motorschip met één bak is dit zowel op ondiep, als op diep water gedaan, maar aangezien verschillende stuthoeken gebruikt zijn, komt dit effect niet in de resultaten tot uiting. Wel blijkt dat de optredende krachten zeer sterk afhankelijk zijn van de voorspanning in de draden. De resultaten zijn opgenomen in figuur 5 (blz 7).

Voor een duwend motorschip met drie bakken zijn in [1] 4 zig-zag proefresultaten opgenomen. Voor deze combinatie is echter geen vergelijkbare figuur als figuur 5 geconstrueerd, en ook is niet bekend welke voorspanning gebruikt is. De methode van koppelen was bij deze combinatie anders dan bij de vorige. Het blijkt dat de optredende krachten een orde kleiner zijn dan die bij het motorschip met één bak, namelijk maximaal 60 kN.

Daar de omstandigheden in [1] verschillend of onbekend waren (aflaaddiepte bij grote combinatie was bijna 15% groter, onbekend welke voorspanning gebruikt is, koppeldraden werden op verschillende manieren gespannen, vaarsnelheden onbekend), kan er geen verband gelegd worden tussen beide metingen. Er zou veel meer inzicht in de gehele materie verkregen kunnen worden als de optredende draai-, dwars- en langssnelheden (en bij voorkeur ook nog de versnellingen) bekend zouden zijn; deze zijn immers direct verantwoordelijk voor de optredende krachten. Er zou dan een afschatting gemaakt kunnen worden betreffende de invloed van ondiep water, verschillende manieren van koppelen, afmetingen en massa van de combinatie etc.

Optredende krachten in de koppeldraden van een tweebaksduwstel in zeegang zijn doorgererekend in [2]. De resultaten hiervan zijn opgenomen in figuur 6, 7 en 8 (blz 8).

Er is weinig bekend over de significante golfhoogten op de Westerschelde, maar verwacht wordt, dat bij windkracht 6 een hoogte van 1 meter op zou kunnen treden (afhankelijk van de windbaan, waterdiepte, stroming etc.). Uit [2] blijkt dat er in dat geval horizontale krachten op kunnen treden van 1200 kN, dwarskrachten van ongeveer 400 kN en verticale krachten van rond de 200 kN.

In [3] wordt vooral ingegaan op de knikverbanden, maar uit vergelijkingsdoeleinden is ook een 'normaal' koppelverband (één bak breed) meegenomen. In figuur 9, 10 en 11 (blz 9) zijn de optredende momenten tussen de twee bakken opgenomen bij het varen van een bocht (dus alleen de stationaire krachten). Voor het conventionele duwstel geldt in de figuur dus $\alpha=0$. De hoogste waarde in deze figuur (1200 kNm) wordt volgens [3] in de praktijk niet gehaald, omdat het stuur- en motorvermogen van de duwboot niet voldoende zal zijn. Stationaire momenten tot 600 kNm zullen in de praktijk dus op kunnen treden.

De optredende krachten tussen de twee bakken bij verschillende knikverbanden zijn ook in [4] met elkaar vergeleken a.d.h.v. zig-zag proeven. De resultaten zijn opgenomen in onderstaande tabel 1.

A is een combinatie met afmetingen 180 x 9.5 x 2.71 m, en B met 145 x 9.5 x 2.63 m.

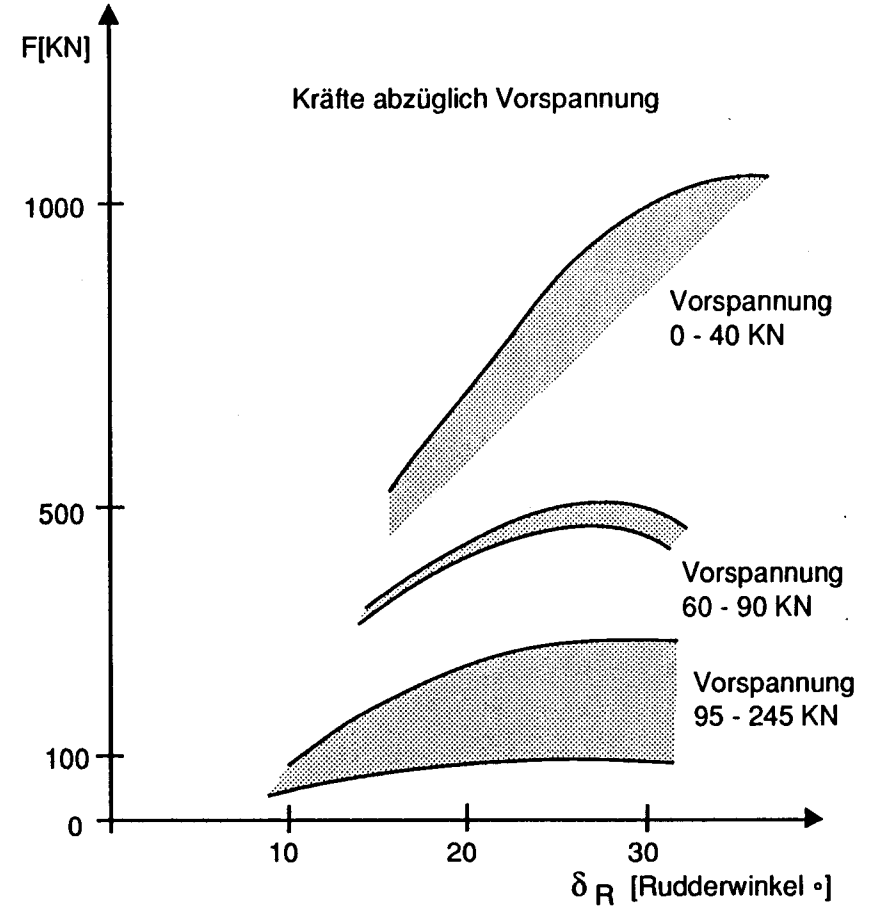
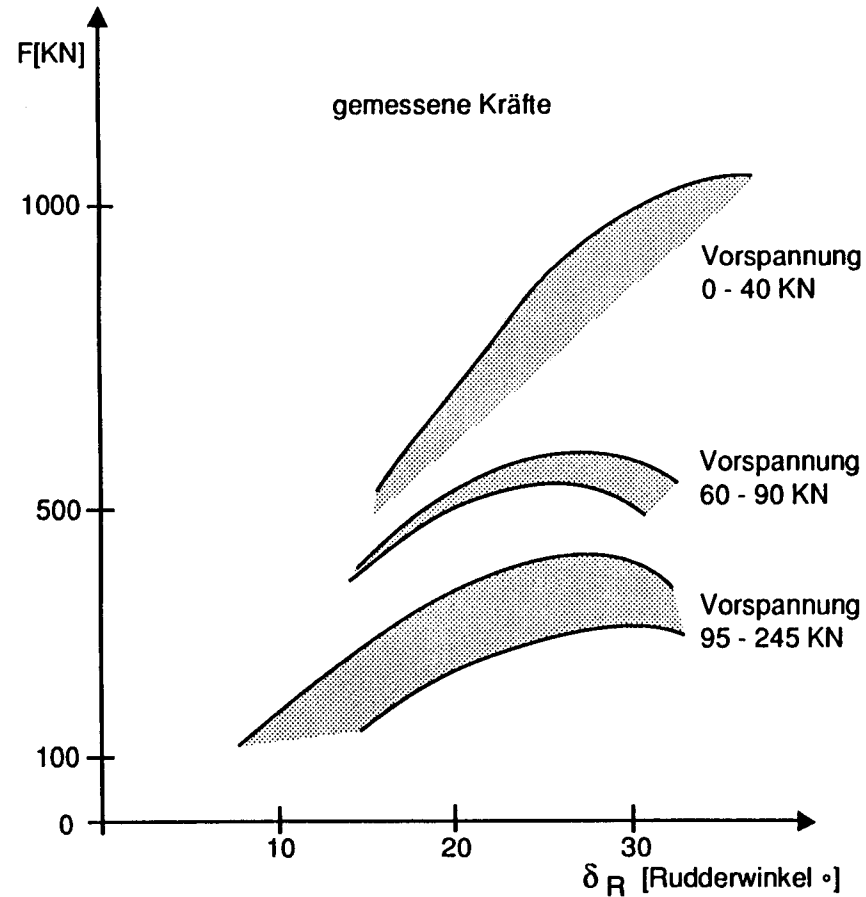
	roerhoek (°)	vertikale kracht (kN)	horizontale kracht (kN)		dwarskracht (kN)
			druk	trek	
A	20	70	537	-	-
	30	0	996	480	96
	30	210	330	-	-
	40	250	280	-	-
B	20	52	235	-	94
	30	93	259	-	53
	40	60	325	-	109

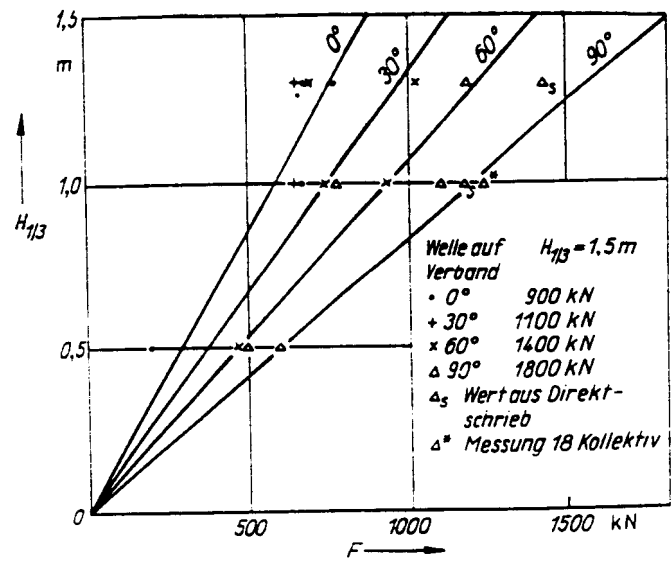
Tabel 1: Optredende koppelkrachten tussen de twee bakken van een lange tweebakker tijdens uitvoeren zig-zag proef.

Fahrzeug K

Maximale Kräfte aus Schlangelversuchen
gültig für Tiefgänge 1,97m - 2,28m und Wassertiefen 4,0m - 11,0m
Propellerdrehzahlen 278 UPM - Ausgangsgeschwindigkeit $V_0 = 12,9$ km/h durch das Wasser

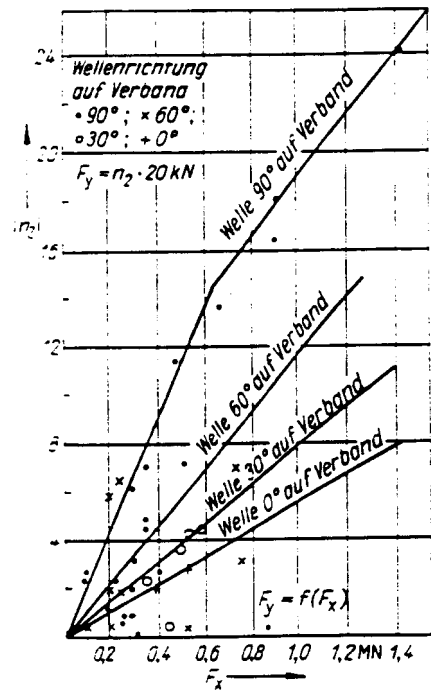
Figur 5





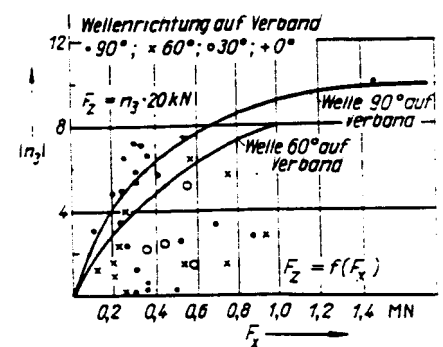
Figuur 6

Längskraft-
verlauf F_x



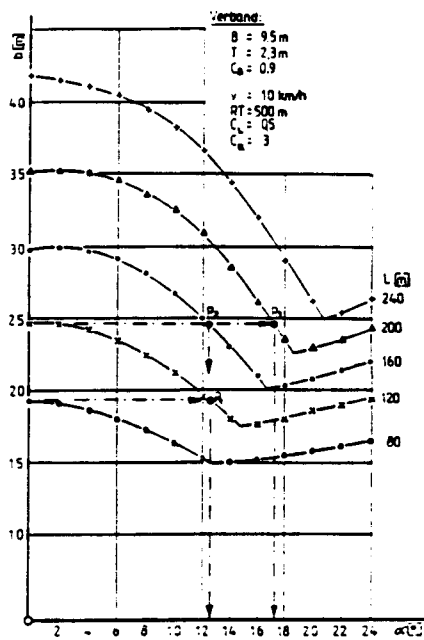
Figuur 7

Querkraft-
verlauf F_x

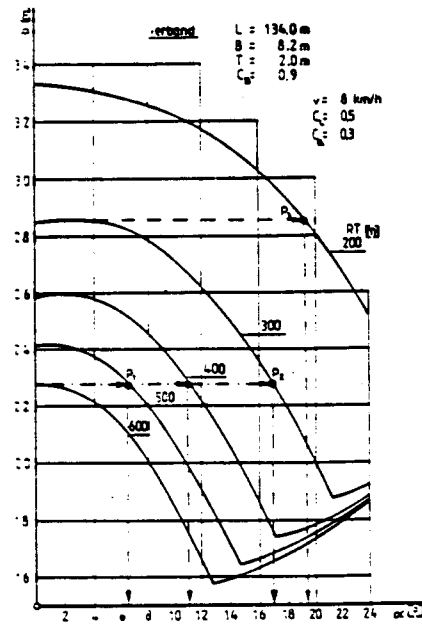


Vertikalkraft-
verlauf F_z

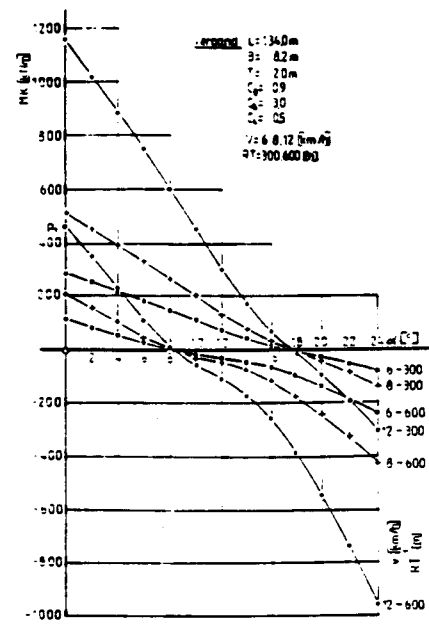
Figuur 8



Abhängigkeit der Fahrspurbreiten vom Knickwinkel für verschiedene Verbandslängen bei einem konstanten Krümmungsradius



Beziehungen zwischen Knickwinkel, Fahrspurbreite und Krümmungsradius für einen bestimmten Verband



Kupplungsmoment für verschiedene Geschwindigkeiten und Krümmungsradien eines gegebenen Verbandes — ohne Belastung aus dem Knickvorgang

Figuur 9

Uit literatuur [3]

Figuur 10

Figuur 11

Tabel 1 levert dus niet veel nieuwe informatie op t.o.v. [1], daar onbekend is welke voorspanning gebruikt is. Het is ook niet verwonderlijk dat de optredende krachten bij de kleinere combinatie B kleiner zijn.

In de meeste literatuur wordt uitgegaan van een koppelverband (of tweebaksduwstel) in de lange formatie (i.v.m. knikbesturing).

Uit de literatuur kan daardoor niet een beeld verkregen worden van de krachten bij een vierbakker.

De volgende verschillen tussen twee- en vierbaksduwstellen doen zich voor:

- * Bij een vierbaksduwstel zullen de dwars- en rotatiesnelheden kleiner zijn, en zal de naastliggende bak zich in het 'kielzog' van de andere bak bevinden. Hierdoor zullen de koppeldraden tussen de voorste en achterste bakken zeer waarschijnlijk een kleinere statische belasting ondervinden.
- * De opbouw van dwars- en draaisnelheden wordt, door speling tussen de bakken, niet evenredig aan de voorste bak(ken) doorgegeven, waardoor door de grotere massa bij een vierbakker grotere massatraagheidskrachten zullen ontstaan, en t.g. daarvan grotere dynamische krachten. Deze krachten worden echter ook over meer draden verdeeld, waardoor verwacht wordt, dat dit geen grotere belasting voor de draden zal betekenen.
- * Bij recht van voren (of achter) inkomende golven, zullen in het ideale geval de naast elkaar liggende bakken dezelfde bewegingen uit willen voeren. Dit betekent dus geen extra belasting voor de koppeldraden. In de praktijk echter, zal deze situatie nauwelijks voorkomen en zullen de bakken in een dergelijke situatie wel degelijk t.o.v. elkaar gaan bewegen. Verwacht wordt echter dat de extra krachten in de langskoppelkrachten te verwaarlozen zijn. De krachten in de dwarskoppeldraden zullen bij voorinkomende golven naar verwachting ook niet erg groot zijn.
- * Bij dwars inkomende golven zullen de naast elkaar liggende bakken sterk t.o.v. elkaar gaan bewegen. Het spreekt voor zich dat de dwarskoppeldraden in dit geval zwaar belast zullen worden. Aangezien tussen de vier bakken vaak een kruiskoppeling toegepast wordt, zullen de langskoppeldraden hierdoor ook zwaarder belast worden.
- * Bij alle overige golfinvallshoeken treedt vanzelfsprekend een combinatie van voorgaande twee verschijnselen op. Indien beide componenten onafhankelijk van elkaar verondersteld worden, moeten de optredende periodieke krachten dus gesommeerd worden, waardoor zeer grote spanningspieken in de draden op zullen treden. In de praktijk treed echter een demping tussen de bakken onderling op t.g.v. de krachten in de koppeldraden, waardoor de pieken iets afgevlakt zullen worden. Bij het varen in golven geldt in het bijzonder, dat de koppeldraadkrachten zeer veel groter kunnen worden bij een afnemende voorspanning (de bakken gaan meer t.o.v. elkaar bewegen).

3. SCHEEPSONGEVALLLEN

Uit het ongevallenbestand van de Dienst Verkeerskunde is voor de jaren 1979 t/m 1989 die ongevallen geselecteerd, waarbij gekoppelde schepen op de Westerschelde en vergelijkbare vaarwegen schade/hinder hebben ondervonden, waarbij golfslag en zuiging van passerende (zee)schepen een belangrijke rol gespeeld hebben.

Bijlage 1 geeft een overzicht van deze ongevallen.

In totaal hebben gedurende deze 11 jaren 14 ongevallen plaatsgevonden, waarbij een duweenheid tijdens ontmoeten/oplopen van een (zee)schip schade heeft ondervonden, nl. 8 ongevallen op de Westerschelde, 2 ongevallen op de Waal, 3 ongevallen op de Nieuwe Waterweg en 1 ongeval op de Noord.

De betrokken eenheden hadden de volgende samenstelling:

- 3 duwboot met een bak
- 4 duwboot met twee bakken (lang gekoppeld, waarvan 1 duwspits)
- 5 duwboot met twee bakken (breed gekoppeld)
- 1 duwboot met drie bakken
- 1 duwboot met vier bakken

Bij 10 gevallen ontstond schade door golfslag en bij 4 gevallen door zuiging, allen veroorzaakt door passerende zeeschepen.

In onderlinge vergelijking met de geselecteerde vaarwegen scoorde de Westerschelde hoog nl. 8 ongevallen ofwel 0,7 ongevallen per jaar. De ongevallen op de Westerschelde vonden plaats tussen Terneuzen en Bath, waarbij het zwaartepunt (ca. 60%) in het vaargebied tussen Terneuzen - Hansweert v.v. lag. Vierbaksduwvaart komt thans op de Westerschelde in geringe mate voor nl. tussen Vlissingen en Terneuzen ca. 80 en tussen Terneuzen en Antwerpen ca. 400 scheepsbewegingen per jaar.

In figuur 12 (blz. 12) wordt de lokatie aangegeven waar de ongevallen op de Westerschelde in de periode 1981-1989 plaatsgevonden hebben.

Intensiteiten.

In tabel 2 worden voor het jaar 1991 de intensiteiten van zee- en binnenvaart gegeven voor een drietal routes op de Westerschelde (bron dir. Zeeland).

De route Terneuzen - Hansweert is kwa scheepsbewegingen het drukst. Daarna volgt de route Vlissingen - Terneuzen. Opgemerkt wordt, dat een gedeelte van de scheepvaart (bestemd voor Hansweert/Antwerpen) ook gebruik kan maken van de nevenroute door de Everingen.

Route	Zeevaart	Binnenvaart
Vlissingen - Terneuzen	45.000	35.000
Terneuzen - Hansweert	35.000	56.000
Hansweert - Antwerpen	34.000	13.000

Tabel 2. Intensiteiten scheepvaart 1991

Schade door golfslag.

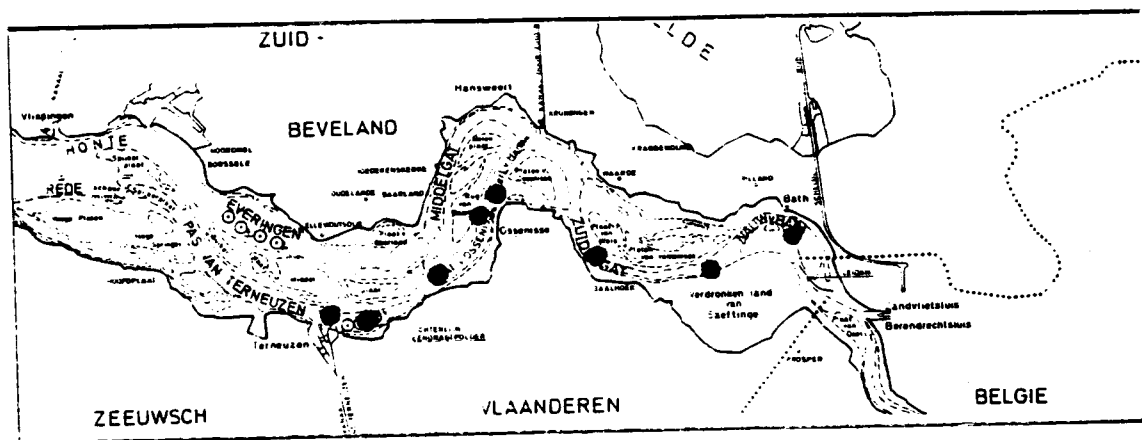
De schade t.g.v. golfslag ontstond 6 keer tijdens ontmoeten en 4 keer tijdens oplopen van een zeeschip en betrof voornamelijk schade/breken van de koppeldraden. De duweenheid was 8 keer met 2 bakken (waarvan 4 met een lange formatie) en 2 keer met 1 bak samengesteld.

Uit de ongevalsbeschrijvingen was de oorzaak niet duidelijk te achterhalen, Te dicht passeren of te hoge snelheid van het veroorzakende schip werd niet met name genoemd.

Schade door zuiging

De schade t.g.v. zuiging betrof 3 keer een aanvaring en een keer breken van koppeldraden. De zuiging ontstond door zeeschepen tijdens oplopen.

Op de Westerschelde zijn geen ongevallen t.g.v. zuiging geregistreerd (breed vaarwater).



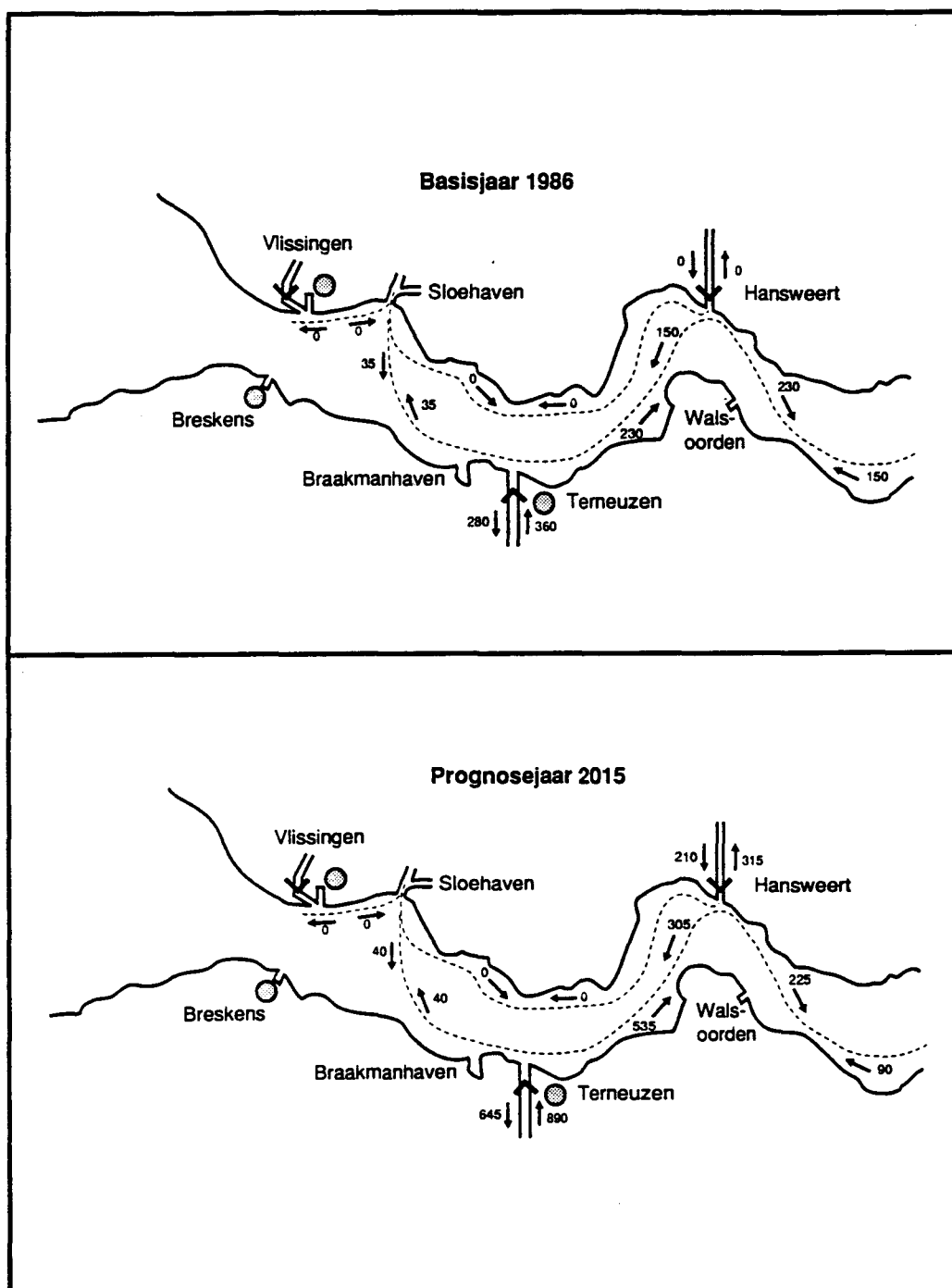
Figuur 12

Ongevallen waarbij duweenheden betrokken zijn in de periode 1981 t/m 1989.

4. PROGNOSE VIERBAKSDUWVAART

Op basis van het verkeersaanbod in 1986 en van de huidige en mogelijk te verwachten goederenstromen naar de verschillende havens aan de Westerschelde is een scenario voor het verkeersaanbod in 2015 afgeleid. Hierbij is rekening gehouden met de mogelijkheid voor vierbakkers op het Kanaal door Zuid Beveland. Figuur 13 geeft een overzicht van de verkeersstromen voor de jaren 1986 en 2015.

Uitgaande van deze prognose kan gesteld worden dat de vierbaksduwvaart op de trajecten Vlissingen - Terneuzen en Hansweert - Antwerpen nagenoeg gelijk zal blijven. De vierbaksduwvaart op het traject Terneuzen - Hansweert zal in aantal echter meer dan verdubbelen, hetgeen inhoudt dat de interactie tussen zee- en vierbaksduwvaart zal toenemen.



Figuur 13 Intensiteiten vierbaksduwvaart

5. PRAKTIJKONDERZOEK

Aanpak

Door middel van interviews afgenomen bij duwbootkapiteins, loodsen en verkeersleiders, die ervaring en kennis van zaken hebben met de vaart van duw eenheden op de Westerschelde, zijn de vaaromstandigheden besproken.

Uit de interviews werd het volgende samengevat:

Hinder in de praktijk

=====

Algemeen

Gebleken is dat ervaren kapiteins die met duweenheden regelmatig/frekwent op de Westerschelde varen goed ingespeeld zijn op de heersende omstandigheden (opstellen vaarplan m.b.t. ongunstig tij en/of slecht weer). Het formeren en koppelen van de bakken krijgt extra zorg.

Hinder van golfslag/wind/stroom

=====

Op de Westerschelde van Vlissingen tot Antwerpen (Zandvliet) is hinder van windgolven mogelijk. Hinder van deining komt, afhankelijk van de windrichting en -kracht, voor ten westen van Hansweert. Tijdens NW-lijke winden kracht 7 of meer wordt op het traject ten westen van Hansweert niet met duweenheden gevaren. Het aanlopen van Terneuzen en Hansweert geeft problemen bij resp. NW en ZW-lijke winden. Deining geeft problemen tijdens in en/of uitvaren haven (Sloe) te Vlissingen.

Bij het aanlopen van een haven moet terdege rekening gehouden met de stroom, waarbij de getijfase van belang is. Het uitvaren van een haven geeft met stroom minder problemen.

Hinder van de overige scheepvaart

=====

De duweenheden hebben regelmatig hinder van de scheepvaart met name zeeschepen en ook wel snelle alleenvarende sleepboten. De hinder betreft de golfslag/waterbeweging van schepen die met hoge snelheid passeren.

Voor op rechte vaarwegstukken is deze hinder groot, de (zee)schepen varen daar kennelijk met hogere snelheden.

Uit oogpunt van veiligheid en goed zeemanschap dienen de zee- en binnenvaart rekening met elkaar te houden.

Koppelingsdraden

=====

Voor het varen op groot (open) water dient extra aandacht te worden besteed aan de samenstelling van de formatie en de koppelingsmethode. De gebruikelijke samenstelling van de formatie is de duwboot in het midden achter de bakken. Bij slecht weer (golfslag) in leeg/half geladen konditie is het raadzaam de duwboot recht achter een bak te koppelen i.v.m. de hechtheid van de formatie.

Het uitzetten van meervoudige draden, extra kruisdraden (lengte niet te kort), extra invetten van bolders om weerstand te verminderen is i.v.m. golfslag en evt. zuiging aan te bevelen. Gedurende de reis dienen regelmatig de draden te worden gecontroleerd. Vooral de kruisdraden zijn gevoelig voor breuk ten gevolge van het bewegen van de bakken onderling.

Padbreedte in nauwe vaartrajekten

=====

T.g.v. (dwars)stroom en/of wind moet een lange formatie opsturen (drifthoek). Dit geldt uiteraard voor ieder schip. Dit kan vooral in bochten hinderlijk zijn voor de overige (grote) vaart. Door de schipper is het soms moeilijker in te schatten om in de bocht de stuurboordszijde van het vaarwater te houden, hetgeen meestal resulteert in een grotere in te nemen vaarbaanbreedte. Van belang is hierbij het vermogen van de duwboot (toerenstoten, roerdruk).

Uitrusting duwboten (vermogen)

=====

In de praktijk geldt als regel dat voor iedere te duwen bak ca. 450 a 500 pk vermogen nodig is om goed te kunnen manoeuvreren. Met name voor opstuurhoeken geldt dat hoe groter de vaarsnelheid des te kleiner de opstuurhoek kan zijn. In de huidige duwvaart op de Westerschelde is geconstateerd dat het beschikbare vermogen van de duwboten of de daarvoor omgebouwde sleepboten aan de krappe kant is. Vooral als dergelijke schepen voor stroomgaande moeten houden voor bijvoorbeeld een haveningang geeft dat problemen. In het kader van het Binnenschepenbesluit moeten voor juli 1998 de duwboten over een geldig certificaat beschikken, waarop vermeld staat onder welke omstandigheden en welke vaarwegen de duwboot geschikt is om te duwen.

6. KONKLUSIES

Uit het literatuuronderzoek:

In de meeste literatuur wordt uitgegaan van een koppelverband (of tweebaksduwstel) in de lange formatie (i.v.m. knikbesturing).

Uit de literatuur kan daardoor niet een beeld verkregen worden van de krachten bij een vierbakker.

De volgende verschillen tussen twee- en vierbaksduwstellen doen zich voor:

- * Bij een vierbaksduwstel zullen de dwars- en rotatiesnelheden kleiner zijn, en zal de naastliggende bak zich in het 'kielzog' van de andere bak bevinden. Hierdoor zullen de koppeldraden tussen de voorste en achterste bakken zeer waarschijnlijk een kleinere statische belasting ondervinden.
- * De opbouw van dwars- en draaisnelheden wordt, door speling tussen de bakken, niet evenredig aan de voorste bak(ken) doorgegeven, waardoor door de grotere massa bij een vierbakker grotere massatraagheidskrachten zullen ontstaan, en t.g. daarvan grotere dynamische krachten. Deze krachten worden echter ook over meer draden verdeeld, waardoor verwacht wordt, dat dit geen grotere belasting voor de draden zal betekenen.
- * Bij recht van voren (of achter) inkomende golven, zullen in het ideale geval de naast elkaar liggende bakken dezelfde bewegingen uit willen voeren. Dit betekent dus geen extra belasting voor de koppeldraden. In de praktijk echter, zal deze situatie nauwelijks voorkomen en zullen de bakken in een dergelijke situatie wel degelijk t.o.v. elkaar gaan bewegen. Verwacht wordt echter dat de extra krachten in de langskoppelkrachten te verwaarlozen zijn. De krachten in de dwarskoppeldraden zullen bij voorinkomende golven naar verwachting ook niet erg groot zijn.
- * Bij dwars inkomende golven zullen de naast elkaar liggende bakken sterk t.o.v. elkaar gaan bewegen. Het spreekt voor zich dat de dwarskoppeldraden in dit geval zwaar belast zullen worden. Aangezien tussen de vier bakken vaak een kruiskoppeling toegepast wordt, zullen de langskoppeldraden hierdoor ook zwaarder belast worden.
- * Bij alle overige golf invalshoeken treedt vanzelfsprekend een combinatie van voorgaande twee verschijnselen op. Indien beide componenten onafhankelijk van elkaar verondersteld worden, moeten de optredende periodieke krachten dus gesommeerd worden, waardoor zeer grote spanningspieken in de draden op zullen treden. In de praktijk treden echter een demping tussen de bakken onderling op t.g.v. de krachten in de koppeldraden, waardoor de pieken iets afgevlakt zullen worden. Bij het varen in golven geldt in het bijzonder, dat de koppeldraadkrachten zeer veel groter kunnen worden bij een afnemende voorspanning (de bakken gaan meer t.o.v. elkaar bewegen).

Uit de ongevalanalyse:

- * Van 1981 tot 1992 zijn op de Westerschelde 8 ongevallen geregistreerd waarbij voornamelijk tweebakkers betrokken zijn geweest; ongevallen met vierbaksduwstellen zijn niet geregistreerd.
- * De ongevallen met duweenheden hadden op de Westerschelde allen betrekking op schade veroorzaakt door golfslag van passerende zeevaart, waardoor de koppeldraden braken.

Uit de prognose (jaar 2015) vierbaksduwvaart:

- * Uitgaande van deze prognose kan gesteld worden dat de vierbaksduwvaart op de trajecten Vlissingen - Terneuzen en Hansweert - Antwerpen

nagenoeg gelijk zal blijven. De vierbaksduwvaart op het traject Terneuzen - Hansweert zal in aantal echter meer dan verdubbelen, hetgeen inhoudt dat de interactie tussen zee- en vierbaksduwvaart zal toenemen.

Uit de interviews:

- * De kapiteins van duweenheden geven duidelijk aan dat rekening moet worden gehouden met de te verwachten wind en deining. Het vaarplan en eventueel het samenstellen van de formatie dient hierop aangepast te worden. Nagegaan moet worden wat de gunstigste samenstelling van de formatie en de ligging van de duwboot achter de bakken is.
- * Het koppelen van de bakken dient zorgvuldig te gebeuren, koppeldraden zolang mogelijk wegzetten en zo mogelijk (dubbele)kruisdraden zetten. Gedurende de reis de draden regelmatig kontroleren op deugdelijkheid en spanning.
- * De vaardiscipline tussen de zeevaart en de binnenvaart behoeft verbetering. De hinder voor elkaar dient tot het uiterste beperkt te worden, waarbij benadrukt wordt dat schade veroorzaakt door golfslag en/of zuiging t.g.v. te hoge passeersnelheden en kleine -afstanden voorkomen moeten worden.
- * Een goede communicatie en discipline tussen schip - wal (verkeerspost) en schip - schip is onmisbaar.
- * Plaatselijke bekendheid met het vaarwater voor de binnenvaart is noodzakelijk, vooral m.b.t. de geometrie en getijden.
- * Het vermogen van de duwboot moet voldoende zijn voor de samengestelde formatie en de vaarwegomstandigheden. De manoeuvreerbaarheid wordt hiermee bevorderd.

BIJLAGE 1

Nr.890509	Westerschelde	Golfslag		
	2-bak lang	Oplopen		
Omschrijving				
Westerschelde t.h.v. Overloop van Valkenisse. Een afvarende duwcombinatie in lange formatie (L*B*T=178*11,4*4,0 m) werd t.h.v. ton 56 opgelopen door een zeeschip (156*23*9,8). Door golfslag zijn koppeldraden gebroken en kwam water in de duwbakken.				

Nr.870749	Westerschelde	Golfslag		
	2-bak breed	Ontmoeten		
Omschrijving				
Op de Westerschelde met de laatste eb afvarende tweebakker in brede formatie (112*23*4,0) zag op grote afstand een zeeschip (162*23*7,5) naderen. Het duwstel kreeg van de V.P.Terneuzen toestemming om tijdig over te steken om "met verkeerde wal" naar Terneuzen Westbuitenhaven te varen. Loods van zeeschip reageerde hierop dat hij gekontakteerd had moeten worden. Zeeschip passeerde groen op groen. De passeerafstand kon niet worden vergroot i.v.m. een onbekend jachtje aan bakboord van het vaarwater. Door de golfslag ging de tweebakker zwaar slingeren, koppeldraden duwboot braken. Doordat een van de bakken wegens de waterdiepte de grond raakte zijn de koppeldraden tussen de bakken eveneens gebroken.				

Nr.870235	Westerschelde	Golfslag		
	Gekoppeld	Ontmoeten		
Omschrijving				
Op de Westerschelde t.h.v. boei 38 bij een ontmoeting tussen een duwspits (2-breed) (39*10*2,4) en een containerschip (185*28*10) veroorzaakte het zeeschip een zodanige golfslag dat koppeldraden braken en nog andere schade werd veroorzaakt. De combinatie verkreeg sleepboothulp.				

Nr.851780	Nieuwe Waterweg	Golfslag		
	2-bak lang	Oplopen		
Omschrijving				
Het opvarende containerschip (131*18*5,2) liep op de Nieuwe Waterweg t.h.v. km 1013,5 het tweebaksduwstel (148*11,4*3,0) op. Het zeeschip veroorzaakte een zodanige waterbeweging dat er koppeldraden braken. Vaarsnelheid zeeschip 37 km/u en duwstel 18 km/u.				

BIJLAGE 1 (blad 2)

Nr.851445	Waal	Zuiging		
	4-bak	Oplopen		
Omschrijving				
Bij een oplooptmanoeuvre waren drie schepen betrokken, nl. binnen- vrachtschip (60*7,2*1,1), zeeschip (67*9,2*3,2) en een duwstel met vier bakken (189*22,8*2,5). Door zuiging ontstond een aanvaring tus- sen het zeeschip en het duwstel. De juiste vaarregels zijn niet toe- gepast.				

Nr.850779	Noord km.984	Zuiging		
	2-bak breed	Oplopen		
Omschrijving				
Tijdens oplopen van een zeeschip (85*13,5*3,5) en een duwstel (96*20,9*2,5) op korte afstand (10 m) ontstond zuiging, waardoor kop- peldraden braken.				

Nr.850488	Rott.Waterweg	Zuiging		
	1-bak	Oplopen		
Omschrijving				
T.h.v. Maassluis liep een duwstel met een bak (77*11,4*0,5) een vrachtschip (200*31,8*8,1) op, door zuiging ontstond aanvaring.				

Nr.841584	Botlek	Golfslag		
	1-bak	Langsvaren		
Omschrijving				
T.h.v. km. 1013/1014. Tijdens passage van een snelvarende zeesleepboot (63*14,7*4,4) kwamen golven dwars op het duwstel met een bak (130*12- ,5*2,1). Een koppeldraad (23 mm) gebroken en schade aan huisraad.				

Nr.841268	Westerschelde	Golfslag		
	1-bak	Oplopen		
Omschrijving				
T.h.v. Terneuzen werd een duwstel met een bak (118*11,4*2,2) opgelopen door een zeeschip (135*18*7). Door ontstane golfvorming begon duwstel te slingeren, waarbij de koppeldraad aan bakboord achter brak.				

BIJLAGE 1 (blad 3)

Nr.840765	Westerschelde	Golfslag	Zuiging	
	2-bak breed	Langsvaren		
Omschrijving				
Een duwstel met twee bakken breed (108*22,1*1) lag 3,5 dag in de Put van Terneuzen (A) ten anker met een anker voor en achter. Bij passage van een zeeschip (236*30,5*8,2) met een vaarsnelheid van 13 knopen braken door zuiging en golfslag twee van de acht koppeldraden (30 mm).				

Nr.840081	Westerschelde	Golfslag		
	2-bak breed	Ontmoeten		
Omschrijving				
In het Zuidergat t.p.v. scheidingston Schaar van Waarde voer een afvarende tweebakker brede formatie (98*22,1*?) en werd opgelopen door een zeeschip (161*23,1*?). Door veroorzaakte golfslag is SB stuurdraad gebroken. Positie duwboot was achter een bakboordsbak en had twee dubbele stuurdraden				

Nr.831126	Westerschelde	Golfslag		
	2-bak lang	Oplopen		
Omschrijving				
In het Nauw van Bath t.h.v. rode ton 68 bevonden zich twee schepen beide afvarend, t.w. een tweebaksduwstel lange formatie (159*11,4*2,2) en een zeeschip (170*23,5*6,4). Het duwstel hield goed sb. vaarwater, doch door sterke vloedstroom ging voorschip naar bb. midden vaarwater. Het vrachtschip loopt op. Het water tussen beide schepen werd opgestuwd. Een koppeldraad tussen de bakken brak door de golfbeweging. Nadere gegevens over de manoeuvre was niet te achterhalen.				

Nr.821579	Waal	Zuiging ?		
	3-bak	Oplopen		
Omschrijving				
Zeeschip (88*11,3*4,4) loopt een driebaksduwstel (184*22,8*3,4) op. Waarschijnlijk door zuiging wordt het zeeschip aangevaren.				

Nr.810677	Westerschelde	Golfslag		
	2-bak lang	Ontmoeten		
Omschrijving				
In Gat van Ossenissee nabij ton 37/39 wordt het tweebaksduwstel (lange formatie, 141*11,4*3,5) door een autocarrier (196*31,7*8,4) gepasseerd. Door golfslag ontstaat door werking van de koppeldraden schade aan bolders.				