

## Themastudie naar roeruitval op binnenschepen

Den Haag, oktober 2004

De eindrapporten van de Raad voor de Transportveiligheid zijn openbaar.  
Alle rapporten zijn beschikbaar via de website van de Raad: [www.rvtv.nl](http://www.rvtv.nl)

## RAAD VOOR DE TRANSPORTVEILIGHEID

De Raad voor de Transportveiligheid is een Zelfstandig Bestuursorgaan met een eigen rechtspersoonlijkheid dat bij de wet is ingesteld met als taak te onderzoeken en vast te stellen wat de oorzaken of vermoedelijke oorzaken zijn van individuele of categorieën van ongevallen in alle transportsectoren te weten, de scheepvaart, de luchtvaart, het railverkeer en het wegvervoer, alsmede het buisleidingen transport. Het uitsluitend doel van een dergelijk onderzoek is toekomstige ongevallen of incidenten te voorkomen en indien de uitkomsten van één en ander daartoe aanleiding geven, daaraan aanbevelingen te verbinden. De organisatiestructuur bestaat uit een overkoepelende Raad voor de Transportveiligheid en daaronder een onderverdeling in Kamers en één Commissie per transportsector. Deze worden ondersteund door een staf van onderzoekers en een secretariaat.

### SAMENSTELLING VAN DE RAAD EN DE KAMER SCHEEPVAART

#### Raad

Voorzitter: mr. Pieter van Vollenhoven  
F.W.C. Castricum  
J.A.M. Elias  
B.M. van Balen  
mw. mr. A.H. Brouwer-Korf  
mr. D.M. Dragt  
mr. J.A.M. Hendrikx  
ir. K. Nije  
prof. dr. U. Rosenthal  
drs. F.R. Smeding  
ing. D.J. Smeitink  
dr. ir. J.P. Visser  
mr. G. Vrieze  
prof. dr. W.A. Wagenaar

#### Kamer Scheepvaart

Voorzitter: J.A.M. Elias  
mr. D.M. Dragt  
prof. ir. A. Aalbers  
jhr. mr. B.C. De Savornin Lohman  
K.J. van Dorsten  
dr. G.A. Egas Repáraz  
P.M.J. Kreuze  
mw. M.J. Torpstra  
H.J.G. Walenkamp  
L.P.A. de Winter

Hoofd-Aanbevelingen: drs. J.H. Pongers  
Hoofd-Onderzoek: H.J. Klumper

Secretaris: drs. H.J.A. Zieverink  
Senior-Onderzoeker:  
Ing. G.Th. Koning

Onderzoekers:  
W. Boutkan  
A.A.W. van der Hoeven  
P.H. Verheijen

#### Bezoek adres:

Anna van Saksenlaan 50  
2593 HT Den Haag  
telefoon: +31 (0)70 333 7000  
website: <http://www.rvtv.nl>

#### Post adres:

Postbus 95404  
2509 CK Den Haag  
telefax +31 (0)70 333 7077 / 78

## **INHOUD**

---

<b>INHOUDSOPGAVE</b>	<b>3</b>
<b>BESCHOUWING</b>	<b>5</b>
<b>AFKORTINGEN</b>	<b>9</b>
<b>1 HET ONDERZOEK</b>	<b>11</b>
<b>2 FEITENONDERZOEK</b>	<b>13</b>
2.1 <i>Techniek</i>	13
2.2 <i>Infrastructurele aspecten</i>	14
2.3 <i>Ergonomie</i>	14
2.4 <i>Menselijke factoren (menselijk falen/handelen)</i>	14
<b>3 ANALYSE</b>	<b>17</b>
3.1 <i>Algemeen</i>	17
3.1.1 <i>Veiligheidsomgeving</i>	17
3.1.2 <i>Keten van wetgeving, goedkeuring tot en met dagelijks gebruik</i>	17
3.1.3 <i>Vergelijking sector binnenvaart met zeescheepvaart, luchtvaart en wegverkeer ten aanzien van toelating en certificering</i>	19
3.1.4 <i>Weinig dodelijke ongevallen, veel ongevallen met schades aan kunstwerken</i>	20
3.2 <i>Techniek</i>	20
3.2.1 <i>Ontwerp</i>	21
3.2.2 <i>Hydraulische systemen</i>	21
3.2.3 <i>Elektrische systemen</i>	22
3.2.4 <i>Mechanische systemen</i>	22
3.3 <i>Infrastructuur</i>	23
3.3.1 <i>Onderzoek (oever)zuiging in het Amsterdam-Rijnkanaal</i>	25
3.3.2 <i>Elektromagnetische Compatibiliteit (EMC)</i>	26
3.3.3 <i>Elektromagnetisch spectrumonderzoek</i>	27
3.4 <i>Ergonomie</i>	28
3.5 <i>Menselijk handelen</i>	29
<b>4 CONCLUSIES</b>	<b>33</b>
4.1 <i>Techniek</i>	33
4.2 <i>Menselijk handelen</i>	34
4.3 <i>Ergonomie</i>	34
4.4 <i>Infrastructuur</i>	35
4.5 <i>Certificering, toezicht en handhaving</i>	35
<b>5 AANBEVELINGEN</b>	<b>37</b>

## **BIJLAGEN**

<b>BIJLAGE 1:</b> Checklist stuurmachine roeruitval	39
<b>BIJLAGE 2:</b> Technische ongevalsoorzaken	45
<b>BIJLAGE 3:</b> Wet- en regelgeving en beschrijving stuurmachine	55
<b>BIJLAGE 4:</b> Tabel 'ongevallen roeruitval' RvTV-database Registratie Ongevallen Scheepvaart (ROS) 07-1999 tot 08-2003	67
<b>BIJLAGE 5:</b> Tabel ongevallen roeruitval database RWS AVV 1994-1999	71
<b>BIJLAGE 6:</b> Zuiging in het Amsterdam-Rijnkanaal, MARIN, april 2003	75

## BESCHOUWING

Het onderzoek naar roeruitval is opgestart, omdat een substantieel deel, ongeveer 10 tot 15%, van de ongevallenmeldingen, terug te voeren is op onbedoelde afwijkingen van de voorgenomen koers van het schip. In de praktijk houdt dit in dat vrijwel iedere week een ongeval plaatsvindt, waar problemen met de besturing aan ten grondslag liggen. Met een integrale benadering van het probleemgebied zijn relevante aspecten uit de veiligheidsketen onderzocht. Deze aanpak is door de Raad voor de Transportveiligheid noodzakelijk geacht, omdat het onderzoek naar roeruitval in de binnenvaartsector zich naar het oordeel van de Raad in het verleden teveel heeft beperkt tot het achterhalen van eventuele technische storingen aan boord en of de bemanning zich aan de vaar- en rusttijden had gehouden.

Dergelijke, vaak in omvang beperkte en op de techniek toegespitste onderzoeken, geven onvoldoende inzicht in de ongevalsoorzaak. In veel gevallen bleef daarbij onduidelijk wat de exacte oorzaak van de roeruitval was geweest en/of bleek de technische storing niet (meer) reproduceerbaar te zijn. Dit laatste geeft in de binnenvaart al jaren voeding aan speculaties over de ware oorzaak van dergelijke ongevallen en de verhouding tussen menselijk en technisch falen. Een deel twijfelt aan de technische oorzaak van de stuurproblemen die door betrokkenen regelmatig wordt gemeld en meent dat het merendeel van de ongevallen is toe te schrijven aan menselijke fouten, zoals onoplettendheid van de schipper in al zijn verschijningsvormen. Een ander deel twijfelt echter niet aan deze technische oorsprong, ook al zijn de storingen vaak niet reproduceerbaar gebleken. Om te trachten aan deze onzekerheid en speculaties een einde te maken en uiteraard om na te gaan waardoor de veilige vaart verder kan worden bevorderd, is dit onderzoek uitgevoerd.

De brede aanpak van het onderzoek, zoals in dit rapport wordt gepresenteerd, tracht inzicht te geven in de situatie die op een deel van de binnenvaartvloot kan worden aangetroffen. De studie toont aan dat door onvoldoende toezicht en handhaving, maar ook door onvoldoende invulling van de eigen verantwoordelijkheid op het gebied van ontwerp, onderhoud, wet- en regelgeving, certificering en toezicht, de veiligheidssituatie ten aanzien van stuurinrichtingen op een deel van de binnenvaartvloot ontoereikend is.

Het onderzoek heeft aangetoond dat van de schepen die na een ongeval aan een onderzoek zijn onderworpen, in maar liefst 58% van de gevallen de oorzaak van het ongeval aan falende techniek was toe te schrijven. In 27% van de gevallen lag een menselijke handeling ten grondslag aan de roeruitval. De overige 15% van de gevallen waren te wijten aan een gebrekkige ergonomische indeling en opbouw van het stuurhuis. Met name de plaatsing van de stuurhendel heeft relatief vaak tot ongelukken geleid. In het algemeen blijkt dat in het bedrijfsleven doorgaans zo'n driekwart van alle ongevallen aan onjuist menselijk handelen dient te worden toegeschreven. Dit is in de binnenvaart echter geenszins het geval. Deze opmerkelijk grote rol die falende techniek nog speelt bij het ontstaan van roeruitval op binnenschepen, vindt de Raad dan ook zeer verontrustend. Uit het onderzoek blijkt tevens dat het daarbij doorgaans gaat om relatief eenvoudig vermijdbare zaken. Belangrijke oorzaken zijn het onoordeelkundig aanbrengen van wijzigingen in de stuurinstallatie en gebrekkig onderhoud, waardoor uiteenlopende storingen aan hydraulische, elektrische en mechanische systemen optreden.

Het onderzoek toont dan ook aan dat met relatief eenvoudige ingrepen een aanzienlijk deel van de ongevallen had kunnen worden voorkomen.

Het door het MARIN uitgevoerde deelonderzoek (zie bijlage 6) geeft de beroepsgroep duidelijker inzicht in het fenomeen oeverzuiging. De "onverklaarbare" ongevallen op met name het Amsterdam-Rijnkanaal blijken uiteindelijk te moeten worden toegeschreven aan de invloed van zuiging op het schip. Hoewel niet met absolute zekerheid is uit te sluiten dat hier

incidenteel toch ook sprake is van externe elektromagnetische beïnvloeding van de navigatieapparatuur aan boord van de schepen, kon de aanwezigheid van dergelijke stoorbronnen op basis van de uitgevoerde spectrummetingen niet worden aangetoond. Vast staat echter dat deze elektromagnetische stoorbronnen, als ze er wel zijn, alleen invloed kunnen uitoefenen in geval van onoordeelkundige aansluiting van of onjuiste materiaalkeuze voor de bekabeling van de navigatieapparatuur. De componenten, zoals ze door de fabrikanten van stuurinrichtingen worden geleverd, voldoen aan de afschermingsnormen, zodat ze, mits goed aangesloten, voldoende weerstand hebben tegen deze externe beïnvloeding.

De Raad heeft hierin aanleiding gezien om een aanbeveling te richten tot de belangrijkste brancheorganisaties. Deze aanbeveling is specifiek aan hen gericht, omdat de verantwoordelijkheid voor de veiligheid aan boord te allen tijde ligt bij de schippers/eigenaren.

De aanbeveling luidt:

*De brancheorganisaties Centraal Bureau voor de Rijn- en Binnenvaart, Koninklijke Schuttevaer, Kantoor Binnenvaart, Vereniging van Waterbouwers in Bagger-, Kust- en Oeverwerken en Vereniging van Sleep- en Duwbooteigenaren 'Rijn en IJssel' wordt aanbevolen ervoor zorg te dragen dat niet alleen de elektrische apparatuur/installaties, maar ook de bekabeling aan boord van binnenschepen voldoet aan de EMC-normen en dat deze met het oog op elektromagnetische beïnvloeding, oordeelkundig zijn aangesloten en geplaatst.*

*Het verdient aanbeveling de schippers/eigenaren vervolgens te verplichten de resultaten van deze inspecties van de elektrische apparatuur en installaties aan te bieden aan de Minister van Verkeer en Waterstaat, in casu de Inspectie Verkeer en Waterstaat, Divisie Scheepvaart en de Minister van Economische Zaken, in casu het Agentschap Telecom.*

Het lijkt tevens noodzakelijk dat de binnenvaartvloot met regelmaat wordt gecontroleerd om de veiligheidsstaat van de stuurinrichting op peil te houden, dan wel te verbeteren. Hiertoe zou een in te stellen jaarlijkse technische keuring in de binnenvaart, vergelijkbaar met de APK keuring voor het wegverkeer, een belangrijke rol kunnen spelen. De Raad is van oordeel dat deze keuringen primair behoren tot de eigen verantwoordelijkheid van de schippers/eigenaren en heeft gemeend een aanbeveling ten aanzien van de stuurinstallaties te moeten richten aan de belangrijkste brancheorganisaties. De aanbeveling luidt:

*De brancheorganisaties Centraal Bureau voor de Rijn- en Binnenvaart, Koninklijke Schuttevaer, Kantoor Binnenvaart, Vereniging van Waterbouwers in Bagger-, Kust- en Oeverwerken en Vereniging van Sleep- en Duwbooteigenaren 'Rijn en IJssel' wordt aanbevolen,*

- a. in vervolg op reeds ingezette proefprojecten schepen periodiek, bijvoorbeeld jaarlijks, te laten controleren op de technische staat van de stuurinrichting, en*
- b. bij alle schepen die verbouwingen of wijzigingen hebben ondergaan die effect hebben op de stuurinrichtingen, een verplichte proefvaart in maximaal belaste toestand uit te voeren.*

*De resultaten hiervan dienen ter kennis gebracht te worden bij de bevoegde overheidsinstantie.*

Hoewel de bovenstaande aanbeveling, als gevolg van de themakeuze, specifiek betrekking heeft op stuurinrichtingen, is de Raad van oordeel dat het aanbeveling verdient om bij het instellen van een verplichte keuring, deze nadrukkelijk te verbreden naar een integrale periodieke keuring van het gehele schip. Dit in navolging van de keuringen die al jaren gemeengoed zijn in andere transportmodaliteiten, zoals de luchtvaart en het wegtransport.

Naar het oordeel van de Raad is dit niet alleen zeer wenselijk, maar is er in Nederland tevens voldoende capaciteit beschikbaar, gezien het grote aantal bekwame en professionele onderhoudsbedrijven voor de binnenvaart in Nederland.

De Raad acht het standpunt dat door de Inspectie Verkeer en Waterstaat wordt ingenomen ten aanzien van de procedure in geval van een proefvaart uiterst onbevredigend en ook onjuist. De Inspectie stelt zich op het standpunt dat proefvaarten onder operationele omstandigheden niet nodig zijn, omdat alle stuurinrichtingen naar haar oordeel aan de gestelde minimum eisen voldoen. De Raad is van oordeel dat dit niet zonder meer het geval is en heeft de noodzaak van proefvaarten onder operationele omstandigheden, na verbouwingen van of wijzigingen aan de stuurinrichting, in een eerdere studie reeds aangetoond. (RvTV rapport: Aanvaring op het Amsterdam-Rijnkanaal tussen drie motorschepen op 23 maart 2001)

De conclusie op basis van het nu uitgevoerde onderzoek is, dat op vele gebieden, zoals ontwerp, onderhoud, certificering en toezicht, verbeteringen noodzakelijk zijn. De aanbevelingen voor verbetering zijn zodanig dat zonder wijzigingen in de wijze van toezicht en handhaving door de Inspectie(s) de voor een veilige vaart noodzakelijke veiligheidsstandaard niet kan worden gegarandeerd. Stuurinrichtingen zijn zonder meer voor alle transportmiddelen van het allerhoogste belang voor de veiligheid. Voor de binnenvaart komt daar echter bij dat de schepen zeer uiteenlopende ladingen in zeer grote hoeveelheden vervoeren, waaronder gevaarlijke ladingen, zoals chemicaliën en brand- en explosiegevaarlijke stoffen. Bij onbestuurbaarheid van schepen is de afloop zeer ongewis. Dit kan resulteren in ongevallen met uitsluitend beperkte materiële schade, maar ook in ongevallen met grote gevolgen voor mens en milieu. Door de schaalvergroting in de binnenvaart zal de noodzaak en het belang van een optimale stuurinrichting alleen maar toenemen. De rol die de Inspecties en toezichthouders en verzekeringen spelen bij dit veranderingsproces, laat onverlet dat ook de schipper en/of eigenaar de verantwoordelijkheid draagt voor het veilig uitvoeren van zijn werkzaamheden, waaronder de veilige vaart. De Raad heeft met betrekking tot deze problematiek gemeend een aanbeveling te moeten richten aan de Minister van Verkeer en Waterstaat. Deze luidt:

*De Minister van Verkeer en Waterstaat wordt aanbevolen de ontwerpeisen voor de installatie van stuurinrichtingen zodanig vast te stellen, dat een typegoedkeuring voor de gehele installatie kan worden afgegeven, met dien verstande dat uitzonderingen op de wet, die het minimum niveau van bedrijfszekerheid en veiligheid aantasten, niet worden toegestaan.*

mr. Pieter van Vollenhoven

Voorzitter van de Raad

drs. J.H. Pongers

wnd. Secretaris-Directeur





## AFKORTINGEN

A.V.V.	-	Adviesdienst Verkeer en Vervoer
BSB	-	Binnenschepenbesluit
BSW	-	Binnenschepenwet
CvO	-	Certificaat van Onderzoek
DS	-	Divisie Scheepvaart
DGG	-	Directoraat Generaal Goederenvervoer
EEG	-	Europese Economische Gemeenschap
EMC	-	Elektromagnetische Compatibiliteit
KHz	-	Kilohertz
GHz	-	Gigahertz
IACS	-	International Association of Classification Societies
ISM	-	International Safety Management code
ISO	-	International Organization for Standardization
ITC	-	Inland Transport Committee
IVR	-	Internationale Vereniging Rijnscheepenregister
IVW	-	Inspectie Verkeer en Waterstaat
JAA	-	Joint Aviation Authorities
KLIC	-	Kabels en Leidingen Informatie Centrum
KOFS	-	Koninklijk Onderwijsfonds voor de Scheepvaart
MARIN	-	Maritiem Research Instituut
NBKB	-	Nederlands Bureau Keuringen Binnenvaart
NEN	-	Nederlands Normalisatie Instituut
PSC	-	Port State Control
RDW	-	Rijksdienst voor het Wegverkeer
ROSR	-	Reglement Onderzoek Schepen op de Rijn 1995
RPR	-	Rijnvaartpolitierglement 1995
RWS	-	Rijkswaterstaat
V&W	-	Ministerie van Verkeer & Waterstaat



# 1 HET ONDERZOEK

## *De aanleiding.*

Vanaf 1 juli 1999, de officiële startdatum van de Raad voor de Transportveiligheid, wordt door het Bureau van de Raad voor de Transportveiligheid een gegevensbestand bijgehouden waarin naast alle ongevalbevindingen ook alle ongeval*meldingen* van de scheepvaart opgeslagen worden. Spoedig kon uit de ongevalmeldingen al worden opgemaakt dat er relatief veel ongevallen hadden plaatsgevonden, waarbij schippers met roeruitval waren geconfronteerd. Dit betrof het uit het roer lopen, onverklaarbaar scheepsgedrag en/of storingen aan het stuurwerk.

In deze rapportage wordt de volgende operationele definitie van roeruitval gehanteerd:

*Roeruitval = elke situatie waarin ongewild een afwijking van de door de roerganger aangehouden dan wel van de op de stuurmachine ingestelde koers plaatsvindt.*

In veel gevallen wordt roeruitval door de betrokkenen aan een technisch mankement toegeschreven. Zowel onderzoeken die in het verleden naar aanleiding van ongevallen zijn uitgevoerd, als reacties uit de bedrijfstak zelf rechtvaardigen het vermoeden dat in een aantal gevallen deze ongevalomschrijving wordt gehanteerd uit juridische of verzekerings-technische overwegingen. Al vele jaren bestaat dan ook onduidelijkheid over de ware oorzaken en vooral over de verhouding tussen het aandeel technisch en menselijk falen. Op deze wijze wordt er geen objectief beeld van de oorzaken verkregen. Het is zelfs mogelijk dat de categorie 'oorzaak technisch mankement' een overschatting vertegenwoordigt. Andere aspecten kunnen eveneens een belangrijke structurele rol spelen, zoals infrastructuurele tekortkomingen, ergonomische eigenschappen van de besturing en menselijk falen (bijvoorbeeld als gevolg van vermoeidheid) van de roerganger. Dit beeld wordt nog eens versterkt omdat het vaak achteraf niet mogelijk is gebleken technische fouten of storingen te reproduceren, waardoor twijfel over de ware oorzaak blijft bestaan. Daarnaast geeft niemand graag toe dat hij/zij zelf een fout heeft gemaakt of door commerciële belangen oververmoeid is geraakt.

Het relatief hoge aantal ongevallen ten gevolge van roeruitval en de grote mate van onduidelijkheid ten aanzien van de oorzaak hiervan is voor de Raad voor de Transportveiligheid aanleiding geweest om de opdracht te geven voor een thematisch onderzoek naar deze problematiek.

Een andere reden om het onderzoek breed op te zetten zijn de grote risico's die kunnen ontstaan bij het uitvallen van het stuursysteem van een schip. Zo zijn gevallen bekend waarin gevaar voor explosie aanwezig was doordat niet ontgaste tankschepen aan de grond of op een krib liepen. In een aantal gevallen achtten de hulpdiensten het risico zo groot dat ontruiming van de omgeving noodzakelijk bleek.

Ook aanvaringen tussen schepen onderling kunnen ontstaan door roeruitval. Het is gelukkig nog niet voorgekomen, maar ondenkbaar is het niet dat door roeruitval aanvaringen met rampzalige gevolgen kunnen plaatsvinden.

Onderzoekers van de Raad voor de Transportveiligheid hebben gedurende het jaar 2001 intensief en uitgebreid de verschillende aspecten die een rol kunnen spelen bij roeruitval onderzocht. Voor dat doel is bij iedere relevante ongevalmelding op uniforme en gestructureerde wijze ongevalonderzoek ter plaatse verricht door een team van onderzoekers.

Bij de onderzoeken van de betrokken schepen ging bijzondere aandacht uit naar de onderstaande aspecten:

- Techniek aan boord
- Infrastructuur van de vaarweg
- Ergonomie van de stuurhut
- Menselijke falen/handelen in de stuurhut (human factor)

De bovenstaande volgorde van aandachtspunten is niet willekeurig. Uit eerder onderzoek is gebleken dat dit type ongevallen relatief vaak een technisch probleem als oorzaak heeft. Voor de gevallen waarbij de oorzaak niet aan de techniek kon worden toegeschreven, lag het in de rede de infrastructuur ter plaatse in kaart te brengen en de indeling van de scheepsbrug te bezien vanuit ergonomisch oogpunt. De menselijke factor is, in geval van ongevallen, veelal moeilijker vast te stellen, mede omdat men in hoge mate afhankelijk is van de verklaringen van de roerganger en overige opvarenden en de bereidheid tot medewerking. Bovendien is het, om uiteenlopende redenen, niet altijd mogelijk dat de betrokkene direct na het ongeval een uitgebreide verklaring afgeeft.

Door een groot aantal aan roeruitval gerelateerde ongevallen op de verschillende genoemde aspecten op structurele en uniforme wijze te onderzoeken, werd voorkomen dat de oorzaak te snel bij een enkel aspect zou worden gelegd en kon objectief worden vastgesteld welke factoren eveneens een rol, direct dan wel indirect, hebben gespeeld.

Gedurende de looptijd van het onderzoek (periode 1 januari 2001 tot 31 december 2001) zijn 33 roeruitval gerelateerde ongevallen aan een onderzoek onderworpen. Deze onderzoeken hebben in een grote hoeveelheid gegevens geresulteerd, die aanvullend onderzoek met behulp van externe organisaties wenselijk maakte. Zowel door het MARIN als het Agentschap Telecom van het ministerie van Economische Zaken (ressorteerde voorheen onder het ministerie van Verkeer en Waterstaat, Inspectie Verkeer en Waterstaat) is in de jaren 2002/2003 op verzoek van de RvTV aanvullend onderzoek verricht. Dit aanvullende onderzoek is mede er de oorzaak van dat het rapport pas in 2004 kon worden afgerond.

Uit het voorliggende onderzoek blijkt onder meer dat het gehele pakket van regelgeving, keuring, certificering en uiteindelijk gebruik onvoldoende op elkaar aansluit. In deze keten kunnen verantwoordelijkheden naar eigen inzicht worden ingevuld. Daarbij kunnen hiaten of verschillen van interpretatie ontstaan die de veiligheidsketen ondermijnen. Voor dit onderzoek is een vergelijking gemaakt met gebruikelijke certificeringssystemen in de luchtvaart, de zeescheepvaart en het wegverkeer.

Vanuit de Raad voor de Transportveiligheid wordt aandacht besteed aan de rol van de overheid (en expertisebureaus) in het systeem van goedkeuringen en afgifte van certificaten. Het onderzoek naar het ongeval met het mts. Devotion (RvTV-rapport *Aanvaring op het Amsterdam-Rijnkanaal tussen drie motorschepen op 23 maart 2001*) op het Amsterdam-Rijnkanaal heeft aangetoond dat bepaalde gangbare en algemeen geaccepteerde werkwijzen voor het testen op de juiste werking van stuurmachines geen garanties geven voor correcte werking van de apparatuur aan boord van schepen onder operationele omstandigheden.

## 2 FEITENONDERZOEK

Zoals hierboven reeds vermeld, heeft het onderzoek naar de 33 roeruitval-gerelateerde ongevallen zich geconcentreerd op een viertal hoofdaspecten. Hieronder wordt per onderdeel aangegeven op welke wijze de onderzoeken hebben plaatsgevonden en welke gegevens hierbij werden verkregen. Voor alle in het onderzoek betrokken ongevallen geldt dat ze op dezelfde uniforme en gestructureerde wijze zijn onderzocht.

De vier onderdelen voor het feitenonderzoek van het thematisch onderzoek 'roeruitval' zijn;

- Techniek
- Infrastructurele aspecten
- Ergonomie
- Menselijk falen/handelen in de stuurhut (Human factor)

### 2.1 *Techniek*

Dit deelonderzoek richtte zich vooral op technische aspecten van de stuurinrichting zoals de kwaliteit van de gebruikte materialen, het onderhoud en de storingsgevoeligheid. Daarvoor werd een uitgebreide checklist (bijlage 1) opgesteld waarmee op locatie de voor dit doel ingehuurd organisatie op systematische wijze de gehele stuurinrichting controleerde op eventuele storingen en/of gebreken. Het was voor het onderzoek van belang inzicht te verkrijgen in de gebruikte stuurinrichtingen met betrekking tot het type, de materiaalkeuze, de (elektronische) constructies, de integratie van de diverse systemen en de dimensionering van de diverse componenten. Daarbij werd ook het betreffende scheepstype vastgelegd. Verder is er met betrekking tot de technische staat onderzoek gedaan naar de wettelijke eisen, het toezicht en de handhaving door de overheid.

De technische fouten bij de stuurmachines en de daarbij behorende installaties zijn onder te verdelen in de volgende categorieën:

1. Ontwerp
2. Hydraulische systemen
3. Elektrische systemen
4. Mechanische systemen
5. Alarmeringsystemen

#### 1. *Ontwerp*

Bij een aantal schepen werd de bestaande oude installatie geheel of gedeeltelijk vernieuwd. Aanpassingen aan de stuurmachine en of het roer waren zodanig dat de verschillende componenten niet langer goed op elkaar afgestemd waren. Door een te groot of juist weer te klein vermogen had een deel van het systeem het begeven, waardoor roeruitval ontstond. Bij veel schepen ontbraken een of meer vormen van alarmering, waardoor de roerganger niet werd gewaarschuwd bij het uit het roer lopen van het schip.

#### 2. *Hydraulische systemen*

Er werden op veel (10) schepen in de hydraulische systemen lekkages aangetroffen van minimaal één liter per etmaal. Een ander veelvuldig voorkomend probleem zijn vervuilde filters. In drie gevallen zijn de stuurventielen de veroorzaker geweest. In twee gevallen is het ontbreken van dubbele tanks de medeveroorzaker geweest van de roeruitval.

### 3. Elektrische systemen

In een aantal gevallen bleek kortsluiting de oorzaak te zijn geweest van de roeruitval. Maar ook kwam een aantal keren naar voren dat de accu's en/of de dynamo te zwak was. Een veel voorkomend probleem blijkt de bescherming tegen elektromagnetische straling tussen apparatuur onderling en externe apparatuur zoals mobiele telefoon. In één geval was direct duidelijk dat een mobiele telefoon de roeruitval had veroorzaakt.

### 4. Mechanische systemen

De speling op de tandwielen, kettingen, rollen en lagers was in een aantal gevallen zodanig groot dat dit leidde tot roeruitval. Ook bleek uit de staat van de onderdelen dat onderhoud aan dergelijke systemen slecht of helemaal niet was uitgevoerd.

### 5. Alarmeringsystemen

Bij een drietal schepen bleek het uitblijven van een alarm de oorzaak van de roeruitval. De alarmen functioneerden niet of niet goed. Daarnaast bleek bij nader onderzoek van de overige gevallen dat op een zevental schepen de akoestische alarmering niet werkte en werden o.a. defecte lampjes en doorgeknipte elektrische bedrading aangetroffen.

## 2.2 Infrastructurele aspecten

Voor dit aspect is een kleine database opgesteld waarin de gegevens zijn opgenomen van alle ongevallen die door de RvTV gedurende de onderzoeksperiode zijn onderzocht. De ongevallen zijn opgesplitst naar de plaats van ontstaan, op open (ruim) vaarwater, rivier of kanaal. Deze plaatsen kregen een verdere onderverdeling waarbij gekeken werd naar het bochtenpatroon van een rivier, de stromingspatronen van de betreffende vaarweg en of een kunstwerk dan wel engte werd gepasseerd in samenhang met de dieptes van het vaarwater. Ook de ongevalsomgeving werd in kaart gebracht, zodat een reconstructie mogelijk was van de omstandigheden waaronder het ongeval had plaatsgevonden.

De infrastructuur bleek uiteindelijk in de meeste gevallen indirect (als secundaire factor) invloed te hebben op de roeruitval. Het deelonderzoek van het MARIN toont aan dat roeruitval een complex samengaan van verschillende factoren wordt, zodra de roerganger niet adequaat reageert op de eerste signalen.

## 2.3 Ergonomie

De ergonomische staat van het stuurhuis is voor een belangrijk deel bepaald aan de hand van foto's. Van elk schip dat bij een ongeval betrokken was, is getracht in het stuurhuis foto's te maken vanuit diverse posities. Op grond van deze foto's is een plattegrond gemaakt van de plaatsing en uitvoering van instrumenten, apparatuur en werktafels. Ook de vaak aanwezige zithoek, TV, kinderbox, computer, en dergelijke werden daarbij opgenomen om een indruk te verkrijgen van de omstandigheden *waarin* de betreffende roerganger werkte. Deze totaalindruk is getoetst aan de norm (NEN-EN 1864/97) die ten aanzien van de stuurhuisinrichting geldt.

Aan boord van de schepen zijn regelmatig lessenaars en bedieningsorganen aangetroffen die niet voldeden aan de ergonomische norm en (in)direct de oorzaak waren van de roeruitval.

## 2.4 Menselijke factoren (menselijk falen/handelen):

In uiteenlopende industriële omgevingen wordt het merendeel van de ongevalsoorzaken toegeschreven aan menselijk falen. Als dit wordt doorgetrokken naar de binnenvaartsector, betekent dit dat een substantieel deel van de onderzochte ongevallen terug te voeren is naar de factor mens, als (mede)oorzaak van het ongeval. Dit geeft aan dat ook in dit onderzoek niet kon worden volstaan met de reeds vermelde deelonderzoeken. De menselijke factor is

een regelmatig terugkerend onderwerp van onderzoek in de vervoerssector, omdat daar de mens-machine relatie van grote invloed is. Voorbeelden van menselijk falen zijn;

- niet opvolgen van procedures
- onvoldoende veiligheidsbewustzijn
- miscommunicatie
- werklast/vermoeidheid
- onvoldoende competentie/training/ervaring

De verklaringen die door sommige roergangers gegeven werden, gaven een goed inzicht in de achtergronden. Een aantal roergangers vertelde eerlijk en onomwonden dat ze in slaap waren gevallen of dat ze een black-out hadden gehad. Niet alleen scheelt dat in de zoektocht naar de oorzaak, maar de eerlijkheid van de roergangers stelt het onderzoeksteam in staat ook inzicht te krijgen in deze doorgaans moeilijk te onderzoeken en objectief meetbare oorzaken van ongevallen.

Naast de 33 ongevallen uit 2001 is ook een drietal bijzondere gevallen van roeruitval onderzocht (de laatste melding dateert van oktober 2003). Dit betroffen meldingen van roergangers op het Amsterdam-Rijnkanaal die onverwacht afwijkend stuurgedrag van het schip ondervonden. Deze drie schepen zijn echter niet betrokken geweest bij een ongeval, maar hebben het voorval op eigen initiatief gemeld. Gezien het feit dat deze voorvallen binnen de operationele definitie van roeruitval vallen, zijn de schepen eveneens aan een technisch onderzoek onderworpen. De uiteindelijke oorzaak van het onverwachte stuurgedrag kon zelfs na uitgebreid onderzoek in alle drie de gevallen niet worden achterhaald. Wel worden in de analyse de vermoedelijke oorzaak of oorzaken onder de loep genomen. Deze drie schepen zijn overigens niet in de tabellen opgenomen. De tabellen vermelden uitsluitend schepen die als gevolg van roeruitval bij een ongeval betrokken zijn geweest.





## 3 ANALYSE

### 3.1 Algemeen

#### 3.1.1 Veiligheidsomgeving

Zoals elk transportmiddel zijn ook binnenschepen gehouden aan wettelijke eisen die gesteld zijn aan het goederen- en passagiersvervoer. Daarvoor geldt in internationaal verband het ROSR 1995 voor de internationale Rijnvaart en in nationaal verband het Binnenschepenbesluit. De Binnenschepenwet is de raamwet waar de nationale en internationale eisen ten aanzien van de binnenvaart in zijn vastgelegd.

Als een schip voldoet aan deze eisen wordt het toegelaten voor de vaart en krijgt het daarvoor een Certificaat van Onderzoek. De schipper/eigenaar van het vaartuig is verantwoordelijk voor de tijdige verlenging van het certificaat dat, afhankelijk van het type vaartuig, elke vier tot zeven jaar moet worden verlengd.

Ook aan de roerganger worden eisen gesteld. Minimaal dient hij of zij een groot vaarbewijs te hebben. Voor de Rijnvaart geldt een aparte aantekening, het Rijnpatent. Voor het vervoer van gevaarlijke lading zijn aanvullende certificaten vereist.

De controle op de certificering van schip en bemanning gaat onder eindverantwoordelijkheid van de Minister van Verkeer & Waterstaat. De controle wordt uitgevoerd door respectievelijk de Divisie Scheepvaart voor wat betreft de eisen aan het schip en bemanning en het Koninklijk Onderwijsfonds voor de Scheepvaart (KOFs) voor wat betreft de eisen gesteld aan de schipper.

In een ideale omgeving kan de veiligheid van de binnenvaart als volgt worden gezien:

Het schip is onder certificering voorzien van alarmeringsystemen die de roerganger waarschuwen als problemen ontstaan. Ook de stuurinrichting heeft verschillende alarmen voor de in gebruik zijnde kritische componenten. Als de stuurinrichting uitvalt, heeft de roerganger een noodstuurinrichting die met een enkele schakeling in werking kan worden gesteld.

Het geheel van certificering, alarmering, ingrijpen door en deskundigheid van de roerganger wordt het veiligheidssysteem genoemd. Het veiligheidssysteem zorgt ervoor dat het uitvallen van één schakel niet noodzakelijkerwijs leidt tot ongevallen. Aan boord is de roerganger de laatste schakel in de veiligheidsketen. De veiligheidsmarges dienen zo te zijn geïnstalleerd, dat de roerganger adequaat kan reageren op een alarmering of een weigering van de stuurinrichting.

Verschiedende factoren kunnen dit veiligheidssysteem beïnvloeden, zowel in positieve als in negatieve zin. Bij juist gebruik van de diverse beïnvloedingsfactoren zal de inbreng positief zijn. Bij het niet onderkennen van de waarden die de beïnvloeding heeft, wordt het veiligheidssysteem aangetast. Factoren die zowel positief als negatief kunnen uitvallen zijn bijvoorbeeld; (goede en slechte) wetgeving en het daaruit voortvloeiende toezicht en handhaving, opleiding en training, procedures en onderhoud.

Maar zelfs als de genoemde aspecten op de juiste wijze worden gebruikt, kan het zijn dat het schip door onvermoede externe invloeden in de problemen raakt. Dit is bijvoorbeeld het geval bij elektromagnetische straling en het tekort aan bescherming daartegen (EMC).

#### 3.1.2 Ketten van wetgeving, goedkeuring tot en met dagelijks gebruik

Vanaf het ontwerp tot de afbouw van een nieuw gebouwd schip worden het casco en de installatie van werktuigen en apparatuur op het schip getoetst aan de wettelijke eisen. Deze eisen zijn afhankelijk van het vaargebied en het type schip. Voor passagiersschepen gelden bijvoorbeeld andere eisen dan voor schepen bestemd voor het vervoer van gevaarlijke lading. In bijlage 3, wettelijke regels en beschrijving stuurmachine, worden de wettelijke voorschriften en basisinrichting van de stuurmachine weergegeven.

Het monitoren van de wettelijke eisen en het uiteindelijk goedkeuren van het gehele schip inclusief de installaties zijn taken van de Inspectie Verkeer en Waterstaat, Divisie Scheepvaart. Een aantal van deze taken is door de Divisie Scheepvaart gedelegeerd aan klasse- en expertisebureau's. Zo inspecteren de klassebureaus voornamelijk de schepen en installaties bedoeld voor het vervoer van gevaarlijke stoffen. De aangewezen expertisebureaus houden zich voornamelijk bezig met cascokeuringen. Bij de delegatie van taken is tevens vastgelegd dat de Divisie Scheepvaart toezicht houdt op de bureau's over de uitvoering van de gedelegeerde taken, het zogenoemde metatoezicht.

De meerderheid van de expertisebureau's heeft zich verenigd in het Nederlands Bureau Keuringen Binnenvaart teneinde de kwaliteit van de keuringen en de onafhankelijkheid/onpartijdigheid van de experts te waarborgen. Daarnaast zijn de klasse-bureau's verenigd in de International Association of Classification Societies (IACS).

Na ingebruikname van het schip wordt het, met een interval van vier tot zeven jaar, afhankelijk van het type schip, opnieuw gekeurd. Ook na ingrijpende wijzigingen (niet nader gedefinieerd in de wetgeving) wordt een keuring uitgevoerd. Per kwartaal wordt op deze wijze van gemiddeld 1100 schepen bepaald of zij voldoen aan de eisen van certificatie. Een beperkt aantal van deze, door de genoemde klasse- en expertisebureaus afgehandelde schepen wordt geselecteerd voor een nader onderzoek door een expert van de Divisie Scheepvaart.

Bij deze keuringen wordt ook de staat van de stuurinrichting beoordeeld. Er zijn zeer uiteenlopende typen stuurmachines, die bovendien op hun beurt weer op verschillende manieren kunnen worden gekeurd. De betrokken partijen hebben aangegeven dat men intern normen hanteert voor keuring op grond van, onder andere, toleranties van installaties. In de marge verschillen deze normen onderling. Daarnaast wordt van de individuele expert verlangd dat hij bij de beoordeling van de installatie zijn persoonlijke expertise gebruikt.

De wettelijke eisen voor stuurmachines zijn algemeen gesteld. In de wet is geregeld dat uitzonderingen mogelijk zijn. Aangezien daarnaast keurende instanties eigen normen hebben vastgelegd en persoonlijke expertise van invloed kan zijn op de kwaliteit, is het mogelijk dat eenzelfde stuurmachine verschillende beoordelingen krijgt. Opvallende factor bij dit deel van het onderzoek is dat de afscherming voor elektromagnetische straling geen hoge prioriteit heeft bij de keurende instanties. Men gaat uit van de wettelijke regel dat de installatie voldoende afgeschermd is. Eenduidige normen voor afscherming zijn wel vastgesteld voor de apparatuur, maar de verbindingen tussen de diverse apparatuur worden in de regel niet gecontroleerd.

In het dagelijkse gebruik van de stuurinrichting kan van de beroepsschipper worden verwacht, indien van toepassing ondersteund door een rederij, dat minimaal de door de fabrikant voorgeschreven onderhoudsintervallen worden aangehouden. In de praktijk blijkt dat er op dat gebied voorzichtige ontwikkelingen plaats vinden, onder andere op basis van erkende kwaliteitssystemen (o.a. ISO). De gevestigde rederijen lopen daarbij voorop. De particuliere eigenaar zal daarin moeten volgen, onder druk van bevrachters en verzekeringsmaatschappijen. In dat kader biedt een fabrikant aan zijn klanten een periodieke keuring van de stuurmachine en haar vitale onderdelen aan. Aan de eigenaar wordt na deze inspectie een keuringsrapport en, als de stuurmachine geen slijtage of storingen vertoont, een certificaat uitgereikt. Daarnaast hebben een aantal verzekeraars, naar aanleiding van de schadeclaims, de Internationale Vereniging het Rijnschepenregister (IVR) opdracht gegeven te onderzoeken of het mogelijk is schepen tussentijds periodiek te keuren op de voor een veilige navigatie noodzakelijke technische onderdelen zoals stuurmachines. Deze keuring, die als

polisvoorwaarde aan de verzekerden zou moeten worden opgelegd, is getiteld 'Schadepreventie onderzoek binnenvaart'.

Hoewel bij de kwalitatief slechtste schepen met betrekking tot de technische staat van de stuurinrichting ook een buitenlands rederijsschip te vinden is, moet worden geconstateerd dat juist bij de particuliere schipper/eigenaar relatief vaak het disfunctioneren van de stuurinrichting wordt aangetroffen. Ook blijkt uit het onderzoek dat de installatie matig tot slecht wordt onderhouden, wat zich uit in lekkages, grote speling op onderdelen en dergelijke.

Hiermee wordt meteen het 'lek' in het toezicht duidelijk. Het handhaven van de goedgekeurde installatie door middel van o.a. onderhoud en tijdige vervanging van onderdelen, is de verantwoordelijkheid en de zorgplicht van de schipper/eigenaar. De overheid in haar rol als (meta)toezichthouder en handhaver van de goedgekeurde situatie is in de huidige opzet van verantwoordelijkheden niet bij machte elk schip jaarlijks aan een uitgebreid onderzoek te onderwerpen. De intervalcyclus van keuringen is zodanig dat een schip in een slechte staat kan geraken, zonder dat dit tijdig wordt opgemerkt door de bevoegde instantie(s).

### *3.1.3 Vergelijking sector binnenvaart met zeescheepvaart, luchtvaart en wegverkeer ten aanzien van toelating en certificering.*

De binnenvaartcyclus van goedkeuring en inspecties van het schip met een vooraf vastgesteld interval wijkt niet af van de ontwikkelingen in de zeescheepvaart. Onder de internationale wetgeving is ook een zeeschip gehouden aan een inspectie-interval afhankelijk van het type schip. In de internationale zeescheepvaart is geconstateerd dat dit regime veel ruimte overlaat aan eigenaren en vlaggenstaten die het minder nauw nemen met het noodzakelijke onderhoud aan het schip. Internationale reactieve maatregelen die daarop zijn ondernomen zijn Port State Control (PSC), waarbij de scheepvaart in havens extra wordt gecontroleerd, en International Safety Management code (ISM), waarbij de nadruk ligt op de organisatie van scheeps- en walorganisatie en de samenhang daartussen. Speerpunten daarbij zijn kwaliteit, milieu en veiligheid.

Wordt een vergelijking gemaakt met de certificering en inspectie in de luchtvaart dan valt één aspect direct op. In de luchtvaart wordt vooral, enkele uitzonderingen daargelaten, gewerkt met typegoedkeuringen, waardoor een goedkeuringscertificaat voor een bepaald type leidt tot goedkeuring (Type Certificaat en Bewijs van Luchtwaardigheid) van de gehele serie. Aan de hand van luchtwaardigheidseisen wordt een vliegtuig ontworpen. Dit ontwerp wordt getoetst aan de eisen, waarna een typecertificaat wordt afgegeven. Het eerst gebouwde exemplaar zal tevens worden getoetst en daarna wordt een bewijs van luchtwaardigheid gegeven dat geldig is voor de gehele serie. Ook bij aanpassingen van een bestaand vliegtuigontwerp is aanvullende certificering noodzakelijk. Daarnaast kent de luchtvaart een volledig gedocumenteerd onderhoudsprogramma, gerelateerd aan vliegtuigtype en gebruikscondities.

Er zijn wel verschillen mogelijk tussen landen onderling. Met behulp van bilaterale verdragen en/of multilaterale instellingen zoals de Joint Aviation Authorities (JAA) worden deze verschillen zoveel mogelijk voorkomen. Vliegtuigbouwers ontwikkelen bij voorkeur een bepaald type vliegtuig, waarvan men verwacht dat het aan de marktvraag zal voldoen. Vervolgens zal een vrij grote serie vliegtuigen van dat type worden gebouwd voor verschillende afnemers (vliegtuigmaatschappijen).

In de scheepvaart is het gebruikelijk dat een werf pas gaat bouwen als daartoe opdracht is verstrekt. Het schip wordt naar de wensen van de opdrachtgever 'gemodelleerd'. Soms wordt in beperkte mate seriebouw toegepast. Het gaat dan in de binnenvaart om casco's die bijvoorbeeld in China zijn gebouwd. De installatie van (stuur)machines is echter niet uniform, maar wordt uitgevoerd naar de wens van de desbetreffende schipper/ eigenaar, binnen de mogelijkheden van de wettelijke voorschriften.

In Nederland worden jaarlijks ruim 6.000.000 voertuigen APK-gekeurd. Al deze voertuigen hebben een typegoedkeuring, maar zoals we bij de andere transportmiddelen ook zien is de staat van onderhoud in grote mate bepalend voor de veiligheid en het milieu. De Rijksdienst voor het Wegverkeer (RDW) heeft een systeem opgezet waarin erkende bedrijven de APK mogen uitvoeren. Door middel van steekproeven (ongeveer 3% van het totaal) worden de uitgevoerde keuringen gecontroleerd. Ook de bedrijven zelf worden met enige regelmaat getoetst aan de eisen die de RDW heeft gesteld.

Dit veiligheidssysteem heeft ertoe geleid dat het wagenpark op technisch gebied veiliger is geworden en aan de milieueisen kan blijven voldoen.

Elk systeem heeft voor- en nadelen en is voor succes ook afhankelijk van economische factoren. De bovenstaande opsomming maakt duidelijk dat de kwaliteit van vervoermiddelen op het gebied van veiligheid en milieu op diverse manieren kan worden geborgd.

Omdat niet alleen in Nederland geregistreerde schepen door de Inspectie kunnen worden gekeurd, is het aantal jaarlijkse keuringen groter dan op grond van de omvang van de geregistreerde Nederlandse binnenvaartvloot mag worden verwacht. Bovendien mogen de keuringsregimes in de verschillende Rijnstaten niet substantieel van elkaar verschillen. Indien de Inspectie frequentere (bijvoorbeeld jaarlijkse) keuringen zou invoeren wordt het gelijkheidsbeginsel geschaad en kunnen schippers besluiten het schip in een andere Rijnstaat ter keuring aan te bieden. Kwaliteitseisen voor de certificering en onderhoud van de binnenvaartvloot zullen dan ook internationaal en/of onder druk van verzekeraars moeten worden vormgegeven.

#### *3.1.4 Weinig dodelijke ongevallen, veel ongevallen met schades aan kunstwerken.*

Het aantal bedrijfsmatige schepen in de Nederlandse binnenvaartvloot bedraagt 4.772

schepen (CBS, 2003), waarvan:	3.568	motorschepen
	538	motorsleepboten
	666	duwbakken

Het aantal ongevallen in de binnenvaart, van kleine schades tot total loss, wordt geschat op 7.000 tot 10.000 gevallen op jaarbasis. Het aantal dodelijke ongevallen is, vergeleken met andere modaliteiten klein. Veel ongevalsmeldingen hebben voornamelijk betrekking op materiële schade aan kunstwerken (viaducten, sluisen, kribben) oevers en andere schepen. Ook bij de onderzochte ongevallen voor het thema roeruitval komt persoonlijk letsel niet of nauwelijks voor. De vrijwel wekelijkse melding dat een schip als gevolg van uit het roer lopen een ongeval heeft, geeft aan dat er een structureel probleem bestaat in de uitvoering van het besturingssysteem van binnenschepen en de certificering daarvan.

### **3.2 Techniek**

In bijlage 2 (Technische oorzaken en latente gebreken) wordt een uitgebreide toelichting gegeven op de bevindingen van het onderzoek op de 33 schepen. In een aantal gevallen was de technische staat dermate slecht, dat hiermee de geldigheid van het Certificaat van Onderzoek voor deze schepen ter discussie gesteld kon worden.

Zoals blijkt uit de onderzoeksresultaten in de bijlage, is het ontwerp en het onderhoud van de stuurinrichting in een aanzienlijk aantal gevallen een sluitpost gebleken. In een aantal gevallen kon ook aangetoond worden dat wijzigingen in de stuurmachine waren aangebracht met vergaande negatieve gevolgen. Zonder proefvaart met beladen schip onder operationele omstandigheden en maximale uitgeoefende krachten, is het onmogelijk die gevolgen te onderkennen (zie tevens RvTV-rapport *Aanvaring op het Amsterdam-Rijnkanaal tussen drie motorschepen op 23 maart 2001*).

Overigens zegt de Divisie Scheepvaart in een reactie hierop:

*De proefvaarten na verbouwing van het stuurwerk worden inderdaad met leeg schip gedaan. Naar onze ervaringen is het niet relevant of dit met leeg of geladen schip gedaan wordt, omdat de geïnstalleerde vermogens zodanig zijn dat deze bepalend zijn voor de krachten die er op het roer werken. In de praktijk blijkt ook dat nagenoeg elk stuurwerk aan de minimale wettelijke eisen voldoet voor wat betreft capaciteit.”(einde citaat)*

Een overzicht van de technische problemen die gevonden zijn (de volledige opsomming staat in bijlage 2);

- Ontwerp
- Hydraulische systemen (voorraadtanks, leidingsystemen, stuurventielen, filters, hydrauliek-olie en dergelijke)
- Elektrische systemen (besturing en andere elektronica, voeding, afscherming tegen invloeden van buiten af)
- Mechanische systemen (assen, lagers, tandwielen en dergelijke)
- Alarmeringsystemen (ontbreken, niet werkende)

### 3.2.1 Ontwerp

Een deel van de aangetroffen stuurmachines voldeed qua ontwerp niet aan de geldende voorschriften. Soms ontbraken onderdelen zoals alarmering en gescheiden voedingen voor besturingen, soms ontbrak zelfs de ‘2<sup>de</sup> aandrijving’. Bij 43% van de schepen waarbij zeer uitgebreid technisch onderzoek is verricht, bleek dat het ontwerp direct heeft bijgedragen aan het ontstaan van het ongeval.

Een stuurmachine aan boord van binnenschepen is een intensief gebruikt werktuig. Aan boord van een willekeurig gekozen schip bleek de normaal en goed functionerende en door een stuurautomaat bediende stuurmachine ongeveer 25 schakelingen (roercorrecties) gemiddeld per minuut uit te voeren. Bij 14 bedrijfsuren per dag en 200 vaardagen per jaar zijn dit maar liefst 4.200.000 schakelingen per jaar. Bij dergelijke intensief gebruikte apparatuur zijn, zeker na lang en intensief gebruik zonder adequaat onderhoud, storingen te verwachten.

### 3.2.2 Hydraulische systemen

Hydrauliek is een goed medium om mechanische werktuigen aan boord van schepen te bedienen. Hefwerktuigen, zoals stuurhuisliften, ankerlieren, mastlieren, pompen en dergelijke werktuigen laten zich op betrouwbare wijze voortdrijven op hydraulische wijze. Hydraulische installaties zijn, mits van het juiste ontwerp en goed onderhouden, nagenoeg ongevoelig voor wisselende atmosferische omstandigheden.

In geval van lekkende en vuile installaties kunnen kleine storingen echter geruime tijd onopgemerkt blijven.

Er werden in algemene zin relatief veel lekkages aangetroffen aan boord van de schepen. Hard geworden afdichtingen of niet goed bevestigde afsluitingen waren veelal de oorzaak van deze lekkages.

De regelgeving laat toe dat deze hierboven beschreven werktuigen onder bepaalde voorwaarden worden aangesloten op het hydraulische systeem van een stuurmachine. Het werktuig mag pas worden aangesloten op het systeem ná het stuurventiel van de stuurmachine. Deze aansluiting wordt soms niet goed aangebracht. In één geval bleek dat deze onjuiste aansluiting op de stuurmachine de oorzaak was van de roeruitval. Door lekkage kon de stuurmachine bij gebrek aan olie niet meer functioneren. Bij 19% van de schepen waarbij uitgebreid technisch onderzoek is verricht, bleek dat een mankement aan het hydraulische systeem direct heeft bijgedragen aan het ontstaan van het ongeval.

Bij zeven schepen was slechts één tankcompartiment aanwezig. De wet- en regelgeving staat onder voorwaarden één tank met twee compartimenten toe. Door het scheidingschot

blijven enkele tientallen liters olie in het 'reserve' compartiment over. Als dit 'reserve'-compartiment ook leeg is, zal alsnog roeruitval ontstaan.

Deze wettelijk toegestane uitzonderingen voorkomen dat systemen moeten worden aangepast aan de laatste eisen. Voor de veiligheid is het uiteraard wenselijk de installatie in te richten naar de laatste stand van de techniek.

### 3.2.3 *Elektrische systemen*

Veelvuldig zijn defecte optische signaalgevers van alarmerings- of signaleringssystemen aangetroffen. In zeven gevallen was het akoestische signaal van het alarm defect. In een enkel geval was het akoestische alarm afgesloten. Bij 62% van de schepen waarbij technisch onderzoek is verricht, bleek dat dit soort defecten aan het elektrische systeem direct heeft bijgedragen aan het ontstaan van het ongeval.

Elektromagnetische straling bij gebruik van elektrische apparatuur is niet te voorkomen. Daarom is een goede afscherming noodzakelijk.

Bij 12 van de 17 schepen die op EMC-afscherming zijn gecontroleerd, bleken de stuurmachines niet goed of niet op de juiste wijze te zijn beschermd tegen elektromagnetische stralingsinvloeden. Vaak waren niet de juiste kabels gebruikt of waren deze kabels niet op de juiste wijze aangesloten. Kroonsteentjes werden gebruikt en in een enkel geval bleken kabels 'in elkaar gedraaid', dus zonder deugdelijke verbinding, aan elkaar geknoopt. Een niet afgeschermd stuurmachine kan door elektromagnetische stralingen, zoals afgegeven door marifoons, portofoons en mobiele telefoons, een stuurstroom ontvangen die de stuurmachine ongewild activeert en/of de juiste werking verstoort.

Om tijdig kunnen ingrijpen bij roeruitval is snelle en juiste waarschuwing aan de roerganger noodzakelijk. Bij 15 van de onderzochte schepen werden gebreken of storingen gevonden in de juiste alarmering of signalering van de stuurmachine.

Bij drie schepen waarbij technisch onderzoek is verricht bleek de gebrekkige of defecte alarmering (vaak door onzorgvuldigheid) de veroorzaker te zijn geweest van het ongeval.

### 3.2.4 *Mechanische systemen*

Bij diverse mechanische onderdelen van de onderzochte stuurinrichtingen, zoals de lagers, tandwielen en kettingen, is overmatige speling/slijtage aangetroffen. Niet alleen op kettingen, maar ook in lagers is veel ruimte aangetroffen, waardoor als gevolg van de overschrijding van de toegestane toleranties storingen/gebreken ontstonden, die hebben geleid tot ongevallen. In alle gevallen was er sprake van achterstallig onderhoud. Lagers, kettingen of tandwielen waren op ernstige wijze versleten. In lagers waar tussen de draaiende delen en lagerdelen spelingen van enkele tienden millimeters als normale veilige speling kon worden gezien, werden soms spelingen aangetroffen welke de veilige norm ruimschoots overtroffen. Deze slijtage kan slechts ontstaan door lange gebruiksduur in combinatie met slecht onderhoud. In enkele gevallen bleek er geen enkel smeermiddel aanwezig.

Een stuurmachine is een cruciaal onderdeel van een schip om tot een veilige vaart te komen. Dergelijke cruciale onderdelen behoeven een dagelijkse controle door de bemanning van het schip. In totaal bleek het hierbij om 29% van de technische gebreken te gaan.

Samenvattend:

Uit het onderzoek blijkt dat technische problemen in 58% van alle roeruitval-gerelateerde ongevallen de directe oorzaak van het ongeval was. Deze technische problemen die een directe relatie met het ongeval hadden zijn weer verder opgedeeld. Het gaat daarbij niet altijd om de enige oorzaak, er kan ook sprake zijn van samenloop met andere defecten.

Het percentage van mankementen/storingen dat is aangetroffen op de 19 schepen waarbij een technisch mankement de directe oorzaak van het ongeval was:

Ontwerp	43%
Hydrauliek	21%
Alarmering	16%
Elektrisch	62%
Mechanisch	5%

(Omdat er meerdere mankementen op een schip aangetroffen kunnen worden, is de som van de percentages hoger dan 100%).

Op technisch gebied zijn diverse overgangsbepalingen in de wet verwerkt. Bij bestaande schepen (gebouwd voor inwerkingtreding van het ROSR 1995 of het BSB) hoeven sommige onderdelen pas na nieuwbouw, vervanging en/of ombouw te voldoen aan de huidige voorschriften. Met betrekking tot de technische inrichting van stuurmachines gaat het hierbij om de volgende onderdelen/regels:

- Eén (voor BSB twee) handeling om de 'tweede bediening' in te schakelen.
- Het verbod om (of toestaan onder bepaalde voorwaarden) andere verbruikers aan te sluiten op de stuurmachine.
- Afzonderlijke hydraulische tanks
- Twee onafhankelijke stuurventielen.
- Niveaualarm hydrauliektank.

Bij de analyse en conclusies van het onderzoek naar roeruitval is geen rekening gehouden met deze overgangsbepalingen. Voornaamste reden hiervoor is dat overgangsbepalingen onveilige installaties kunnen laten voortbestaan. Het voortbestaan van dergelijke inherent onveilige installaties is niet te rijmen met een kwalitatief hoogwaardig veiligheidssysteem.

### 3.3 Infrastructuur

Voor het onderdeel infrastructuur is een aparte database opgezet waarin de ongevallen, die plaats vonden van 1 januari 2001 tot 31 december 2001, werden geregistreerd.

Met deze registratie is onder andere inzicht verkregen in de verhouding tussen vaartuig- en vaarwegafmetingen en de verkeersintensiteit op de verschillende vaarwegprofielen.

Zoals hieronder in het overzicht is aangegeven, bleek uit deze registratie dat de meeste schepen in moeilijkheden kwamen op betrekkelijk smalle vaarwaters. Het Amsterdam-Rijnkanaal springt in het oog door het relatief grote aantal meldingen van roeruitval.

Soort vaarwater	open (ruim) vaarwater	rivier	kanaal	totaal
Aantal roer-uitval gerelateerde ongevallen	4	14	15	33
% van het totaal aantal ongevallen	12%	42%	46%	100%

**Tabel 1:** Indeling van het aan roeruitval gerelateerde aantal scheepvaartongevallen in 2001 naar soorten vaarwater (Bron: RvTV)

Open(ruim)vaarwater	IJsselmeer	Hollandsch Diep
Aantal schepen	2	2
Totaal geschatte aantal vaar-bewegingen 2001 <sup>1</sup>	200.000-400.000	>100.000

**Tabel 2:** Ongevalsefrequentie op ruim vaarwater in 2001 (Bron: A.V.V)

Rivier	Nieuwe Merwede	Nieuwe Maas	Oude Maas	Waal	Lek	Gelderse IJssel
Aantal schepen	1	2	1	8	1	1
Totaal geschatte aantal vaar-bewegingen 2001 <sup>2</sup>	80.000-100.000	geen gegevens beschikbaar	geen gegevens beschikbaar	>100.000	20.000-60.000	20.000-40.000

**Tabel 3:** Ongevalsefrequentie op rivieren in 2001 (Bron: A.V.V)

Kanaal	Amsterdam-Rijnkanaal	Schelde-Rijnkanaal	Hartelkanaal	Lekkanaal
Aantal schepen	11	2	1	1
Totaal geschatte aantal vaar-bewegingen 2001 <sup>3</sup>	60.000-80.000	60.000-80.000	geen gegevens beschikbaar	60.000-80.000

**Tabel 4:** Ongevalsefrequentie op kanalen in 2001 (Bron: A.V.V)

Eveneens is in de database vastgelegd in welke situatie zich problemen voordeden. Hierbij is gekeken naar de meander. Dit is het stromingspatroon van de vaarweg en of een engte<sup>4</sup> of kunstwerk<sup>5</sup> werd gepasseerd op het moment van het ongeval.

#### Typering vaarwater

- Rechte vaarweg (26)
- Bocht in de vaarweg (9)

#### Stromingspatroon

- Stroming (14)
- Stil water (21)

#### Passage kunstwerk (6)

Het geconstateerde verschil tussen het Amsterdam-Rijnkanaal met relatief veel en het Schelde- Rijnkanaal met relatief weinig meldingen van roeruitval, is eenvoudig te verklaren. Het eerstgenoemde kanaal heeft enkele zeer specifieke kenmerken, zoals zeer lange rechte stukken en relatief steile kanaalwanden (de eerste 2 a 3 meter loopt de oever recht naar beneden om daarna geleidelijk schuin naar beneden te lopen).

Het Schelde-Rijnkanaal heeft meerdere bochten en heeft over grote stukken breed vaarwater, waar van oeverzuiging geen sprake is. Bovendien is het kanaalprofiel niet steil, maar met aflopende oevers.

<sup>1</sup> Binnenschepen en zeeschepen bestemd voor het vervoer van lading. Bron: A.V.V. (Schattingen afhankelijk van de plaats van het telpunt)

<sup>2</sup> Bron: A.V.V.

<sup>3</sup> Bron: A.V.V.

<sup>4</sup> Engte is een versmalling in het vaarwater veroorzaakt door een (tijdelijke) obstructie, brug, sluis e.d..

<sup>5</sup> Kunstwerk is een algemene term die gebruikt wordt om een sluis, brug, aquaduct e.d. aan te duiden.



In drie gevallen is door de RvTV vastgesteld, dat bij het varen op de automatische piloot, gekoppeld aan de bochtautomaat, op rechte stukken in het kanaal, het schip een onrustig en afwijkend vaargedrag ging vertonen. (Het schip onderging plotseling forse roercorrecties waardoor een min of meer zigzag koers gevaren werd).

Dit afwijkende vaargedrag kon soms worden opgeheven door de stuurautomaat uit te schakelen en over te gaan op handmatige bediening. In een tweetal gevallen bleef ook dan nog het schip bijna onbestuurbaar.

Door de RvTV is in eerste instantie bij Rijkswaterstaat (RWS), scheepvaartdienst Amsterdam-Rijnkanaal informatie ingewonnen of het afwijkende vaargedrag vaker was gemeld. Hoewel deze meldingen door RWS niet geregistreerd worden, deelde een woordvoerder mee dat tenminste vijf voorvallen van schepen met dit plotselinge vaargedrag bij zijn organisatie bekend waren. Ook elders is navraag gedaan naar meldingen van mogelijke afwijkend vaargedrag. Dit heeft geen nieuwe gegevens opgeleverd.

Door RWS zijn naar aanleiding van de meldingen dieptemetingen verricht, waarvan de resultaten geen significante verschillen vertoonden met het normale kanaalprofiel. Twee andere opties van mogelijke oorzaken zijn ook onderzocht. Enerzijds het fenomeen oeverzuiging en de mogelijke invloeden daarvan, anderzijds het fenomeen elektromagnetische straling en de bescherming van de gebruikte apparatuur daartegen (=Elektromagnetische Compatibiliteit).

In de rapportage "Aanvaring tussen drie motorschepen op het Amsterdam-Rijnkanaal", uitgebracht door de Raad voor de Transportveiligheid, zijn de karakteristieken van het kanaal beschreven.

Het kanaal kent veel rechte stukken vaarweg, waardoor een feitelijk overzichtelijke situatie bestaat die het gebruik van de automatische piloot rechtvaardigt. Deze automatische piloot, die in feite een bochtautomaat is waarmee de roerganger het schip op bochtige vaarwegen geleidelijk een bocht kan laten varen, wordt op de rechte stukken op een bochtsnelheid van 0° per minuut ingesteld.

Deze rechte stukken in de vaarweg worden mogelijk als weinig inspirerend ervaren en gelet op de uitrusting in de stuurhut is het niet ondenkbaar dat de aandacht op de navigatie hierdoor enigszins vermindert. Eveneens kan de verleiding groot zijn om tijdens het navigeren op deze rechte stukken nevenactiviteiten te verrichten.

De roerganger vertrouwt in feite op de werking van de stuurautomaat, die een groot aantal irregelmogelijkheden heeft. Ondanks het feit dat beroepsschippers kennis hebben van en rekening houden met oeverzuiging, blijkt uit het hieronder beschreven deelonderzoek dat de geschetste omstandigheden juist kunnen leiden tot ongewenste situaties.

### 3.3.1 Onderzoek (oever)zuiging in het Amsterdam-Rijnkanaal

De RvTV heeft opdracht verstrekt aan het Maritime Research Institute Nederland (MARIN)<sup>6</sup> om het vaargedrag op het Amsterdam-Rijnkanaal van geladen schepen die op de automatische piloot varen, te onderzoeken.

Hoewel blijkt dat roergangers terdege rekening houden mét en kennis hebben óver het ontstaan van oeverzuiging, kon niet worden aangegeven op welk moment exact (afhankelijk van de verhouding tussen de diepgang schip, de diepte van het vaarwater en de afstand tot de oever) oeverzuiging te verwachten viel.

Mede om deze reden heeft de RvTV tevens het MARIN verzocht om te bestuderen of er handzame schema's voor binnenschepen konden worden ontwikkeld, waaruit eenvoudig is af te lezen op welk moment een roerganger (oever)zuiging kan verwachten, zodat hierop tijdig (mogelijk al bij de reisvoorbereiding en belading) geanticipeerd kan worden.

---

<sup>6</sup> MARIN = technologisch instituut dat zich gespecialiseerd heeft in het ontwikkelen en toepassen van hydromechanische technologie ten behoeve van de maritieme sector

Door het MARIN is naast het uitvoeren van een literatuurstudie, het vaargedrag geanalyseerd van een enkel varende klasse Va schip (lengte 95 - 110 meter, breedte 11,40 meter, diepgang 3,50 - 4,00 meter). Met verschillende vaarsnelheden en op verschillende afstanden van de kanaalwanden, is een simulatie uitgevoerd van de omstandigheden in het Amsterdam-Rijnkanaal.

Daarnaast is een analyse gemaakt van het vaargedrag van binnenschepen onderling, in het bijzonder gedurende een oplooptoernooi en bij het naderen van een tegenligger in het kanaal.

De rapportage van dit onderzoek (inclusief de grafieken die aangeven wanneer zuiging invloed kan hebben op schepen) is als bijlage 6 bij dit rapport toegevoegd.

De bevindingen van het onderzoek van het MARIN zijn:

- Het fysieke verschijnsel oeverzuiging is altijd aanwezig op binnenschepen. Met kleine roeruitslagen is deze oeverzuiging echter al beheersbaar, tenzij er grote vertraging zit in de controle. Oeverzuiging is een controleerbaar probleem.
- Met een bochtautomaat, zoals in gebruik bij de binnenvaart, zal het schip, als gevolg van de oeverzuiging, na enige tijd niet zijn koers houden.
- Er kan een maximum periode worden bepaald, waarin een bochtautomaat zonder correcties van buitenaf kan sturen afhankelijk van de positie in het kanaal, de waterdiepte en de snelheid van het schip.
- Hoewel de krachten niet erg groot zijn, zijn de effecten van oeverzuiging niet op te vangen door een bochtautomaat.
- Het is mogelijk om grafieken te construeren voor binnenschepen, waarin een "gevaarlijke" zone van snelheden en afstanden tot de wal kan worden aangegeven. Op basis van deze grafieken is het mogelijk alarmeringen te ontwerpen.
- Bij het ontmoeten van schepen zijn grote (corrigerende) roerhoeken nodig.

### 3.3.2 *Elektromagnetische Compatibiliteit (EMC)*

Gelet op de bevindingen met betrekking op het Amsterdam-Rijnkanaal heeft de RvTV een deskundige op het gebied van meet- en regelsystemen van de in gebruik zijnde roersystemen in de binnenvaart ingehuurd. Deze expert heeft op een schip tijdens de vaart, tijdens het reproduceerbare afwijkende maar onverklaarbare gedrag van het schip (elektromagnetische) metingen verricht aan de automatische piloot en de stuurmachine. Er zijn onder andere metingen verricht aan het girotolsignaal<sup>7</sup> en het roerstand-signaal<sup>8</sup>. De klepsignalen en voedingsspanningen van het roersysteem zijn daarbij gemeten. Daarnaast is de kabelafscherming gecontroleerd aan de hand van de EMC richtlijn.

Uit dit deelonderzoek blijkt, dat het afwijkende vaargedrag niet kon worden verklaard door invloeden van (elektromagnetische) bronnen (interne veldsterkten) of onjuiste kabelafscherming aan boord.

<sup>7</sup> Girotolsignaal is het signaal van de girotol. Dit is een instrument dat de hoekverdraaiing van het schip meet en die ook weergeeft op de bochtaanwijzer in graden/min.

<sup>8</sup> Roerstandsignaal is het signaal van de feedbackunit die in de achterpiek bij de roeraandrijving is gemonteerd en de stand van het roer weergeeft.

### 3.3.3 *Elektromagnetisch spectrumonderzoek*

Tevens zijn, in opdracht van de RvTV, door het Agentschap Telecom van Economische Zaken in de omgeving van en op het Amsterdam-Rijnkanaal zelf metingen verricht. Deze metingen hadden tot doel om externe veldsterkten te meten, die de navigatie-apparatuur nadelig kunnen beïnvloeden. Ten tijde van dit deelonderzoek was bekend dat de zendmast in Trintelhaven aan de dijk Enkhuizen-Lelystad een dermate sterke straling had, dat apparatuur aan boord van (recreatie)schepen (binnen een straal van 100 tot 150 meter van de zendmast) slecht, niet of juist automatisch ging werken.

Binnen het frequentiespectrum van 9 KHz tot en met 3,5 GHz zijn de elektrische en magnetische veldsterkte gemeten en geanalyseerd. Deze metingen werden varende en op diverse vaste locaties in de nabije omgeving van het Amsterdam-Rijnkanaal uitgevoerd. Ook is op basis van gegevens die zijn verkregen van het Kabels en Leidingen Informatiecentrum (KLIC) een beeld gevormd over de eventuele aanwezigheid en plaats van (ondergrondse)bekabeling in het betreffende gebied<sup>9</sup>. Op grond van deze gegevens zijn diverse metingen verricht. Tijdens deze metingen zijn geen elektrische of magnetische niveaus waargenomen die zodanig extreem waren dat als gevolg daarvan een elektromagnetische storing op zou kunnen treden.

Van de direct naast het vaarwater gelegen spoorlijn, zijn de tijdstippen van meldingen van schepen die afwijkend vaargedrag ondervonden vergeleken met de tijdstippen van treinpassages ter plaatse. Daarbij zijn ook de passagetijden van de proeven met de hogesnelheidstrein vergeleken met de tijdstippen van de ongevallen.

Na analyse van deze gegevens, kon geen enkele samenhang worden aangetoond.

Samenvattend:

Uit het onderzoek is bij geen van de ongevallen vastgesteld dat de infrastructuur een direct verband had met het weigeren van het roersysteem van de betreffende schepen. De infrastructuur gaat pas een rol spelen als in het primaire veiligheidssysteem alarmen en/of afwijkingen al dan niet bewust worden genegeerd.

Schepen worden bijvoorbeeld altijd beïnvloed door (oever)zuiging. Indien schepen onder sterke invloed van (oever-)zuiging varen, zijn voor de roersystemen grotere krachten nodig om op koers te blijven. Onjuist gebruik dan wel instelling van de bochtautomaat kan leiden tot het niet onderkennen van de secundaire situatie, waardoor kritieke situaties kunnen ontstaan.

MARIN stelt in haar onderzoeksrapport dat voor elk type schip eenvoudige tabellen gemaakt kunnen worden om de invloed van zuiging vooraf in te schatten om zo de kritieke situatie te voorkomen.

Elektromagnetische storingen veroorzaakt door uitwendige stralingsbronnen, zoals aan boord van het schip gebruikte mobiele telefonie en marifoon, mogen niet worden onderschat. Uit het onderzoek is een aanwijsbaar geval van dergelijke storingen voortgekomen.

Van drie, in eerste instantie, onverklaarbare incidentmeldingen van grillig stuurgedrag is lang gezocht naar oorzaken in de EMC afscherming en eventuele externe stralingsbronnen. Na herziening van alle relevante gegevens blijken deze gevallen een oorzakelijk verband te hebben met het profiel van het Amsterdam-Rijnkanaal en de door de snelheid van het schip opgewekte zuiging.

---

<sup>9</sup> Zie RvTV rapport: *ONGEVAL MET GASDISTRIBUTIELEIDING, Asfaltfreesmachine raakt gasdistributieleiding op 12 juni 2001 in Leiden*, waarin o.a. de werkwijze van KLIC wordt beschreven.

### 3.4 Ergonomie

De werkomstandigheden voor de roerganger worden vanuit ergonomisch oogpunt vooral bepaald door de wijze waarop het stuurhuis is ingedeeld en met apparatuur is opgebouwd. Er varen nog veel schepen waarbij, misschien de stuurstoel uitgezonderd, nooit naar de ergonomische aspecten van de stuurhuisindeling is gekeken. Om de werkzaamheden toch zo aangenaam mogelijk te maken is de schipper vooral aangewezen op zijn eigen vindingrijkheid om met beperkte kosten zijn stuurhuis zodanig in te richten dat werkzaamheden zo optimaal mogelijk kunnen worden uitgevoerd. Een relatief vaak voorkomend probleem bij de oudere stuurhuizen is de plaatsing van de stuurhendel. In vijf van de 33 gevallen was de oorzaak van de roeruitval te wijten aan de (verkeerde) plaatsing van de stuurhendel. Op deze vijf schepen is de stuurhendel zo geplaatst dat een gedeelte daarvan buiten de lessenaar steekt. Ongewild wordt daar regelmatig ongemerkt tegenaan gelopen of gestoten, waardoor de stuurmachine een onbedoelde roeropdracht krijgt. Ook bij eerdere ongevallen werd de op deze wijze geplaatste stuurhendel vaak als oorzaak van de roeruitval (feitelijk uit het roer lopen) gezien.

Dat dit probleem simpel op te lossen is, blijkt wel uit het feit dat bij de ontwikkelingen van een norm op het gebied van inrichting en plaatsing van instrumenten aan boord van schepen in een vroeg stadium al gekeken is naar de plaatsing van de stuurhendel. Op schepen die volgens de Europese Normering (NEN-EN 1864/97) zijn ingericht zullen in principe geen buiten de lessenaar uitstekende bedieningshendels te vinden zijn. Uit de ongevalgegevens blijkt dit een afname ten gevolge van roeruitval zou betekenen van zo'n 13%. Naast bovengenoemde regelmatig voorkomende oorzaken zijn de onderzoekers ook een stuurwerk tegengekomen waarbij de bediening van de noodstuurinrichting was omgedraaid. Bakboord bleek stuurboord en omgekeerd. Bij verschillende schepen ontbraken ook de functieopschriften van de bedieningsorganen van de stuurmachine.

Dat het sturen moet geschieden door middel van eenvoudige handelingen lijkt een open deur. Toch zijn er schepen waar bijvoorbeeld de bediening van de noodstuurinrichting onlogisch is of zelfs meerdere handelingen vergt om te kunnen inschakelen. In geval van nood kost het inschakelen van de noodbediening dan zoveel tijd dat men in nauw vaarwater eigenlijk altijd te laat is om een ongeval te kunnen voorkomen. Zeker als personen op verschillend ingerichte schepen varen, kan men in noodgevallen door de iets andere inrichting van instrumenten aan boord 'misgrijpen'. Dit probleem wordt inmiddels door enkele rederijen onderkend. Deze zijn overgegaan op het op standaard wijze inrichten van de stuurhutten op de schepen en het trainen van het personeel op het gebied van Bridge Resource Management.

Het bovenstaande heeft te maken met de interactie tussen mens en (hulp-)middelen om taken zo goed mogelijk uit te voeren en fouten te voorkomen. Naast het gegeven voorbeeld kan men ook denken aan het bedieningsgemak van de apparatuur, eenduidigheid en herkenbaarheid van de instrumenten en de richting waarin ze worden bediend. Dat dit nog geen gemeengoed is, blijkt uit de (door Nederland) voorgestelde richtlijn ten behoeve van artikel 7.04, 9<sup>e</sup> lid, ROSR 1995. In de richtlijn worden aanwijzingen gegeven voor de implementatie van eenduidige bediening van apparatuur, waardoor onder andere eenvoudige en foutloze waarneming en bediening worden bevorderd.

Belangrijke omgevingsfactoren zijn het klimaat en de mate waarin trillingen en geluid de werkzaamheden van de roerganger in het stuurhuis kunnen beïnvloeden. Aan deze aspecten wordt dan ook veel aandacht besteed bij de nieuwbouw van schepen. Op oudere schepen kunnen echter nog wel problemen ontstaan op deze gebieden. Een aantal ongevallen waar een duidelijk aantoonbaar verband van menselijk falen als oorzaak is aangemerkt, vindt zijn oorsprong in de ergonomische omstandigheden. Als voorbeeld kan worden genoemd het in slaap vallen van de roerganger, doordat de zon geruime tijd het

stuurhuis aanzienlijk had opgewarmd. De laatste jaren worden overigens in toenemende mate airco-installaties geïnstalleerd om dergelijke problemen te voorkomen.

Tot slot wordt ook de mentale belasting aangeduid als veroorzaker van ongevallen, menselijk falen, van prestatieverval en als risicofactor voor welbevinden en gezondheid.

Met de mentale belasting wordt bedoeld de opname, opslag en verwerking van informatie en de vertaling daarvan in motorische reacties.

De mentale belasting valt te onderscheiden in;

1. Juiste belasting (in overeenstemming met de persoonlijke mogelijkheden),
2. Overbelasting (overschrijding van de capaciteiten van de persoon) en
3. Onderbelasting (te gering beslag op de capaciteiten van de persoon)

Uit het onderzoek roeruitval lijkt vooral mentale *onderbelasting* op momenten een rol te spelen bij bepaalde ongevallen. Op relatief overzichtelijke en voorspelbare trajecten, zal de roerganger zich ertoe moeten zetten om voortdurend actief en alert te blijven. Deze onderbelastingssituatie komt vooral snel voor op lange rechte stukken vaarweg die relatief weinig navigatiehandelingen vereisen.

De afleiding die de roerganger zoekt, kan dan *averechts* gaan werken en leiden tot (bijna-) ongevallen. Vergelijk in dit geval de bevindingen van het MARIN bij het deelonderzoek infrastructuur. De roerganger verwacht dat de stuurautomaat het werk naar behoren doet. De roerganger laat zich vervolgens verleiden om andere taken te verrichten en merkt niet direct op dat het schip van koers afwijkt met als gevolg grotere koerscorrecties en uiteindelijk roeruitval.

De werktijden van de betrokken roergangers zijn ook in het onderzoek betrokken. Vooral bij de ongevallen waar in eerste instantie niet geheel duidelijk was waar de oorzaak van het ongeval moest worden gezocht. Bij die gevallen van roeruitval is gekeken naar het dag- en nachtritme van de betreffende roerganger. Opvallend was dat ondanks de reguliere slaaperiodes, enkele roergangers toch in slaap vielen in de stuurstoel. Ook hier is het effect te zien van het uitblijven van prikkels om voldoende alert te blijven. Als dan tevens zonne- of kachelwarmte het stuurhuis aangenaam verwarmt, dan zijn omstandigheden geschapen waarin men gemakkelijk wegdoezelt.

Deze constatering raken het aandachtsgebied van de menselijke factor, beter bekend onder de engelse term 'human factor'.

Samenvattend;

Het aandeel ergonomie in de ongevallenstatistiek is kleiner dan het aandeel technische staat van de inrichting. Toch is een aandeel van 15% van alle ongevallen voldoende om maatregelen te rechtvaardigen. Met enkele simpele maatregelen, gebaseerd op basale ergonomische uitgangspunten, kan een deel van het veiligheidssysteem worden opgewaardeerd.

### **3.5 Menselijk handelen**

In vele wetenschappelijke publicaties is in de loop der jaren aangetoond dat het aandeel van menselijk falen bij het ontstaan van ongevallen hoog is. Het aandeel kan, afhankelijk van de tak van de industrie, maar liefst 80% bedragen. Een hiervoor mede bepalende factor blijkt het niveau van uitontwikkeling te zijn. Naarmate de techniek 'uitgerijpter' wordt en minder aanleiding geeft tot storing/falen, neemt per definitie het aandeel menselijk falen toe. Het hoge percentage menselijk falen dat vaak aangetroffen wordt, geeft dan ook een indicatie voor de stand van de techniek weer. Uit het onderzoek van de RvTV naar ongevallen die samenhangen met problemen met de stuurinrichting komt geen hoog percentage menselijk falen naar voren. Dit zou een indicatie kunnen zijn voor de nog niet optimale staat van de

techniek aan boord van schepen. Gezien het relatief kleine aantal onderzochte ongevallen kan hieraan vooralsnog echter geen statistische waarde worden toegekend. In onderstaand overzicht staan de ongevalsoorzaken die aantoonbaar direct toegeschreven dienden te worden aan menselijk falen.

In slaap vallen	4
Inschattingsfout	2
Black-out	2
Telefoneren	1

**Tabel 5:** Verdeling van oorzaken van ongevallen die het gevolg zijn van menselijk falen

In negen van de 33 ongevallen (27%) is dus sprake van een direct verband met menselijk gedrag. Opvallend gegeven zijn de meldingen van in slaap vallen. Op het totaal van de voor roeruitval onderzochte ongevallen is niet minder dan 12% veroorzaakt door het in slaap vallen van de roerganger. Wordt het niet geconcentreerd zijn meegerekend, dan loopt dit 'niet bij de les zijn' op tot 18% van de oorzaken van geregistreerde ongevallen met betrekking tot roeruitval.

De achterliggende oorzaak van het in slaap vallen of de black-out van de roerganger dient waarschijnlijk te worden gezocht in vermoeidheid, weinig prikkelende vaaromgeving, te warme werkomgeving (zoals reeds beschreven bij ergonomie), te lang achtereen bezig zijn e.d.. Een eenduidig aanwijsbare oorzaak is echter niet aan te geven.

Vermoeidheid, zoals hierboven beschreven, is geen onbekende factor in de transportwereld. De 24-uurs economie en de aanpassingen die de mens daar geregeld voor moet maken ten opzichte van het gebruikelijke dag- en nachtritme, blijken regelmatig te leiden tot vermoeidheid met al dan niet vergaande gevolgen. De rol die vermoeidheid als veroorzaker van ongevallen in de (inter)nationale transportsector speelt, moet groot worden geacht.

In de praktijk bleek het moeilijk om het aspect human factor uitputtend te onderzoeken. Vooral omdat het moeilijk is inzicht te krijgen in wat zich vlak voor het ongeval afspeelt. De roerganger in kwestie heeft vaak alleen in het stuurhuis gestaan en geeft om begrijpelijke redenen soms niet alle informatie bloot. Om te voorkomen dat gegist gaat worden zijn alleen bovengenoemde oorzaken aangeduid als zuivere human factor bijdrage.

Door het ministerie van Verkeer en Waterstaat, Directoraat Generaal Goederenvervoer, Directie Transportveiligheid is enige jaren geleden een brochure uitgebracht waarin de invloed van de menselijke factor wordt toegelicht en tevens wordt gepleit voor bevordering van veilig gedrag en het bewerkstelligen van een veiligheidscultuur (De menselijke factor en een veilig goederenvervoer, een kader voor beleid, november 2000). In 2002 is door hetzelfde ministerie een aanvang gemaakt met onderzoek naar attitude en gedrag van de binnenvaartschippers. Met behulp van risico-inventarisatie en evaluatie verwacht men het veiligheidsbeleid op die aspecten meer aandacht te kunnen geven.

In de afgelopen jaren zijn al vele publicaties gewijd aan de 'human factor'. Daarbij richt men zich vooral op de grenzen van de mens ten aanzien van zijn taakstelling. Onjuiste afstemming tussen mens en taak kan leiden tot fouten. Een juiste ergonomie, zoals hierboven genoemd, is daar een onderdeel van. Training is een ander facet waarmee men in het transport probeert te bereiken dat de mens beter is voorbereid op zijn taak. Daarnaast kan met behulp van selectiecriteria de beste mens op de juiste plaats gezet worden.

Samenvattend;

Lange werkdagen die in de transportsector geen uitzondering zijn, gekoppeld aan het altijd beschikbaar zijn voor opdrachtgever, klant, werkgever, (overheids-)inspecties, leiden ertoe dat opvarenden in de binnenvaart niet altijd een reguliere nachtrust hebben. In dit deelonderzoek is tevens onderzoek verricht naar tijdstip van ontstaan van het ongeval en de rust- en arbeidstijden van de roerganger. Afwijkingen zijn daarin wel gevonden maar een directe relatie met het ongeval geldt slechts voor enkele gevallen.

Het directe human factor aandeel is veel minder dan de 80% waar men in het algemeen naar verwijst. Dit is mogelijk als de overige omstandigheden ook veel invloed kunnen uitoefenen op het al dan niet functioneren van het veiligheidssysteem.





## 4 CONCLUSIES

In onderstaande tabel is de verdeling weergegeven van de primaire ongevalsoorzaken:

Techniek	58%
Ergonomie	15%
Menselijk handelen	27%
Infrastructuur	0%

**Tabel 6:** Verdeling oorzaken van ongevallen

Uit het ongevalsonderzoek dat op 33 bij roeruitval-gerelateerde schepen is uitgevoerd, blijkt dat de directe oorzaak van het ongeval bij het merendeel van de gevallen gezocht moet worden in technisch falen. In 58% van de ongevallen bleek de oorzaak een technisch mankement te zijn geweest.

### 4.1 *Techniek*

Van de 21 door experts op techniek onderzochte schepen zijn de primaire technische mankementen (58%) onderverdeeld (meerdere oorzaken, dus meer dan 100% mogelijk!). De verdeling staat hieronder weergegeven.

Ontwerp	43%
Hydrauliek	19%
Alarmering	29%
Elektrisch	62%
Mechanisch	29%

**Tabel 7:** Verdeling van oorzaken van ongevallen die het gevolg zijn van technisch falen

De wetgever staat ten aanzien van stuurinrichtingen uitzonderingen toe op de eis van het dubbel uitvoeren van de installatie. Juist de meest vitale onderdelen mogen onder voorwaarden enkelvoudig worden uitgevoerd.

De specifieke eisen aan de voorraad tanks, het leidingsysteem en de stuurventielen zijn zodanig wettelijk omschreven dat plaatsing volgens deze (minimum) eisen geen garantie blijkt te zijn voor een veilig gebruik.

In zeven van de 33 gevallen blijken wijzigingen in het originele ontwerp van de stuurmachines te zijn aangebracht. Naast het gebruik van tweedehands of niet goed bij elkaar passende onderdelen, blijkt ook het plaatsen van sterkere voortstuwingsmotoren voor veiligheidsrisico's te zorgen. De stuurinrichting is na hermotorisering soms niet meer krachtig genoeg om de voortstuwingskrachten met behulp van roeruitslag om te buigen.

Na verbouwing of wijziging van de stuurmachine installatie is een proefvaart noodzakelijk. Tijdens de proefvaart, die ook niet altijd wordt gehouden, is het schip doorgaans onbeladen. Dat dit geen veilige procedure is, blijkt uit het feit dat in vier gevallen de stuurinrichting niet in beladen toestand de maximale belasting kon halen. Dit was ook al geconstateerd bij het onderzoek van de Raad naar het ongeval met drie schepen in het Amsterdam-Rijnkanaal (RvTV-rapport *Aanvaring op het Amsterdam-Rijnkanaal tussen drie motorschepen op 23 maart 2001*).

Op veel schepen bleek bij onderzoek dat het onderhoud van de installatie onvoldoende was. Dit achterstallig onderhoud leidt tot lekkages en spelingen in het systeem, waardoor de

stuurmachine installatie storingsgevoelig wordt. Lekkages in het hydraulische systeem kwamen in bijna de helft van de onderzochte gevallen voor.

Naast achterstallig onderhoud bleek ook dat in de helft van de onderzochte gevallen de alarmering niet werkte door storing of gebreken in het elektrische systeem.

Het elektrische systeem van de stuurinrichting bleek in veel gevallen niet voldoende te zijn afgeschermd tegen elektromagnetische straling van andere apparatuur aan boord en van buitenaf. De toename van de hoeveelheid elektronica aan boord en het niet adequaat afschermen tegen de elektromagnetische invloeden op andere apparatuur is zorgwekkend. In één van de onderzochte gevallen kon de directe invloed worden aangetoond van het gebruik van de mobiele telefoon op de stuurmachine installatie.

Op technisch gebied zijn kwalitatief gezien nog veel mogelijkheden als het gaat om verbeteringen aan het ontwerp, het onderhoud en de wijze van inspectie. Zonder gelijk 'state of the art' technieken te eisen, is het mogelijk de graad van veiligheid technisch op te waarderen, waardoor het totale veiligheidssysteem kwalitatief worden verbeterd.

#### 4.2 Menselijk handelen

De negen ongevallen (27%) die met direct aan menselijk handelen gerelateerd zijn, zijn onder te verdelen in:

In slaap vallen	44%
Inschattingsfout	22%
Black-out	22%
Telefoneren	12%

**Tabel 8:** Verdeling van oorzaken van ongevallen die het gevolg zijn van menselijk falen

Naast technisch falen blijkt menselijk falen eveneens een belangrijke ongevalsoorzaak te zijn. Dit was in 27% van de ongevallen de directe oorzaak. Opmerkelijk hierbij is dat het in maar liefst 44% van deze aan menselijk falen gerelateerde gevallen ging om in slaap vallen. Daarnaast worden relatief vaak inschattingsfouten (22%) en black-out (22%) aangetroffen. In één geval was de roerganger direct voorafgaand aan het ongeval aan het telefoneren: dit was tevens de directe oorzaak van het ongeval.

In slaap vallen (12%) en het ontsnappen aan de aandacht (black-out, 6%) blijkt bij één op de zes gevallen (18%) van roeruitval de directe oorzaak te zijn.

Het in slaap vallen had voorkomen kunnen worden door bijvoorbeeld koeling van de werkplek (airconditioning) of het regelmatig wisselen van werkzaamheden.

#### 4.3 Ergonomie

De meest opvallende factor bij de ergonomie aan boord van schepen was de mogelijkheid om de stuurhendel ongewild van stand te doen wijzigen. Als gevolg van het bij toeval aanstoten van een uit de lessenaar stekende stuurhendel. Van de onderzochte schepen bleek dat bij een op de zeven (15%) ongevalschepen de op deze wijze geplaatste roerhendel de oorzaak van de ongewilde koerswijziging en het eruit resulterende ongeval te zijn. Op veel schepen steekt de roerhendel nog steeds buiten de lessenaar. Deze situatie is eenvoudig te wijzigen zodat dergelijke problemen eenvoudig te voorkomen zijn. Daarnaast kan nog veel gedaan worden aan duidelijke bedieningsindicaties volgens Europese normering (NEN-EN 1864/97) en het onnodig uitvoeren van meervoudige handelingen voor het gebruik van de noodstuurinrichting.

#### 4.4 *Infrastructuur*

Het onderzoek door het MARIN toont aan dat het gebruik van de bochtaanwijzer als stuurautomaat op de lange rechte stukken vaarweg risicovol kan zijn. Het onderzoek laat tevens zien dat op lange rechte stukken vaarweg het vertrouwen in de bochtautomaat onterecht is. Om te voorkomen dat het schip uiteindelijk in de wal loopt, zal de roerganger regelmatig de voorliggende koers en de afstand tot de kanaaloevers moeten controleren. Bij geen van de aan roeruitval gerelateerde ongevallen kon de infrastructuur worden aangemerkt als de directe oorzaak van het ongeval.

De conclusies uit het MARIN-rapport (Bijlage 6) zijn:

- Het fysische verschijnsel oeverzuiging is altijd aanwezig op binnenschepen. Met kleine roeruitslagen is deze oeverzuiging echter al beheersbaar, tenzij er grote vertragingen in de controle zitten. Het fenomeen oeverzuiging is een controleerbaar probleem.
- Met een bochtautomaat, zoals in gebruik bij de binnenvaart, zal het schip als gevolg van de oeverzuiging na enige tijd niet zijn koers houden.
- Er kan een maximale periode worden bepaald, waarin een bochtautomaat zonder correcties van buitenaf kan sturen, afhankelijk van de positie in het kanaal, de waterdiepte en de snelheid van het schip.
- Hoewel de krachten niet erg groot zijn, zijn de effecten van oeverzuiging niet op te vangen door een bochtautomaat.
- Het is mogelijk om grafieken te construeren voor binnenschepen, waarin een 'gevaarlijke' zone van snelheden en afstanden tot de wal kan worden aangegeven. Op basis van deze grafieken is het mogelijk alarmeringen te ontwerpen.
- Bij het ontmoeten van schepen zijn grote (corrigerende) roerhoeken nodig.

#### 4.5 *Certificering, toezicht en handhaving*

Uit de vergelijking die is gemaakt ten aanzien van de certificering in de zeescheepvaart, luchtvaart en wegverkeer, blijkt dat op het gebied van (meta)toezicht door de overheid verschillende methodes worden gehanteerd. Niet zozeer de aard van het vervoer, maar meer de historie en de internationale afspraken zijn bepalend voor de verschillende benadering van certificeren, toezicht en handhaving.

Het (meta)toezicht in de binnenvaart vertoont gelijkenis met het wegverkeer en uiteraard de zeescheepvaart. De indruk bestaat dat bij het zelfstandig bestuursorgaan RDW het (meta)toezicht verder uitontwikkeld is dan bij de Divisie Scheepvaart, een onderdeel van de Inspectie Verkeer en Waterstaat. Binnen de Divisie Scheepvaart zijn, mede door internationaal zeer diverse regelgeving, verschillende benaderingen voor de certificering van zeescheepvaart en binnenvaart van toepassing.

De vergelijking met de certificering in de luchtvaart duidt op grote verschillen in benadering van ontwerp en nieuwbouw. Waar in de scheepvaart voornamelijk per opdrachtgever en specifiek ontwerp naar eigen wens (in kleine serie) wordt gebouwd, ziet men in de grote luchtvaart dat seriebouw de enige wijze is om de complexe systemen uit te voeren en dure productielijnen in stand te houden.

*Samenvattend:*

Op technisch gebied is er nog veel ruimte voor verbetering. In maar liefst 50% van de onderzochte gevallen zijn lekkages in het hydraulische systeem en storingen in het alarmeringsysteem geconstateerd. Dit zijn oorzaken die primair van technische aard zijn, maar die veelal te maken hebben met het (achterstallig) onderhoud aan boord. Bij de indeling zijn ze echter geklasseerd als technische oorzaak en niet als human factor.

Van de diverse aspecten die roeruitval direct veroorzaakt hebben, vormen de ergonomische omstandigheden en menselijk falen tezamen 42% de primaire oorzaak .

Het onderzoek geeft met behulp van de rapportage van het MARIN de beroepsgroep tevens handvatten om rekening te houden met de invloed van zuiging en het gebruik van de bochtautomaat op rechte stukken vaarweg zoals het Amsterdam-Rijnkanaal.

Inspectie en toezicht op de stuurmachines van overheidswege blijft beperkt tot een momentopname. De regelgeving kan worden verbeterd door de minimum eisen zodanig vast te stellen dat deze geen aanleiding geven tot een verhoogd risico.

De vorm en inrichting van het (meta)toezicht zal kritisch bekeken moeten worden. Vergelijking met andere transportsectoren kunnen daarbij inzicht geven in mogelijke oplossingen voor de gesignaleerde problemen.

De resultaten van het onderzoek geven aan dat op onderhoudsgebied, bij uitstek het domein en eigen verantwoordelijkheid van de schipper c.q. eigenaar, de kwaliteit achterblijft. Afgifte van een certificaat door overheid of andere instantie vervangt deze verantwoordelijkheid niet.

## 5 AANBEVELINGEN

1. De brancheorganisaties Centraal Bureau voor de Rijn- en Binnenvaart, Koninklijke Schuttevaer, Kantoor Binnenvaart, Vereniging van waterbouwers in Bagger-, Kust- en Oeverwerken en Vereniging van Sleep- en Duwbooteigenaren 'Rijn en IJssel' wordt aanbevolen,
  - a) in vervolg op reeds ingezette proefprojecten schepen periodiek, bijvoorbeeld jaarlijks, te laten controleren op de technische staat van de stuurinrichting, en
  - b) bij alle schepen die verbouwingen of wijzigingen hebben ondergaan die effect hebben op de stuurinrichtingen, een verplichte proefvaart in maximaal belaste toestand uit te voeren.

De resultaten dienen ter kennis gebracht te worden bij de bevoegde overheidsinstantie.

2. De Minister van Verkeer en Waterstaat wordt aanbevolen de ontwerpeisen voor de installatie van stuurinrichtingen zodanig vast te stellen, dat een typegoedkeuring voor de gehele installatie kan worden afgegeven, met dien verstande dat uitzonderingen op de wet, die het minimum niveau van bedrijfszekerheid en veiligheid aantasten, niet worden toegestaan.

3. De brancheorganisaties Centraal Bureau voor de Rijn- en Binnenvaart, Koninklijke Schuttevaer, Kantoor Binnenvaart, Vereniging van Waterbouwers in Bagger-, Kust- en Oeverwerken en Vereniging van Sleep- en Duwbooteigenaren 'Rijn en IJssel' wordt aanbevolen ervoor zorg te dragen dat niet alleen de elektrische apparatuur/installaties, maar ook de bekabeling aan boord van binnenschepen voldoet aan de EMC-normen en dat deze met het oog op elektromagnetische beïnvloeding, oordeelkundig zijn aangesloten en geplaatst.  
Het verdient aanbeveling de schippers/eigenaren vervolgens te verplichten de resultaten van deze inspecties van de elektrische apparatuur en installaties aan te bieden aan de Minister van Verkeer en Waterstaat, in casu de Inspectie Verkeer en Waterstaat, Divisie Scheepvaart en de Minister van Economische Zaken, in casu het Agentschap Telecom.



**BIJLAGE 1: CHECKLIST STUURMACHINE ROERUITVAL**





Naam schip: \_\_\_\_\_

Europanummer: \_\_\_\_\_

Datum: \_\_\_\_\_

Tijdstip aan boord: \_\_\_\_\_

Plaats: \_\_\_\_\_

Naam inspecteur: \_\_\_\_\_

Naam onderzoeker RvTV: \_\_\_\_\_

**RAAD VOOR DE  
TRANSPORT  
VEILIGHEID**



### Algemene informatie stuurmachine

Type (fabrikant, typenr e.d.): \_\_\_\_\_

Type aandrijving: \_\_\_\_\_ Type 2<sup>de</sup> aandrijving (noodroer): \_\_\_\_\_

Gebruikt type aansturing/stuurautomaat: \_\_\_\_\_

Oliemerk: \_\_\_\_\_ Type/visc: \_\_\_\_\_

Type aandrijving: \_\_\_\_\_ Type 2<sup>de</sup> aandrijving (noodroer): \_\_\_\_\_

Type olietank: \_\_\_\_\_ Aantal compartimenten: \_\_\_\_\_

Bijzonderheden/afwijkingen: \_\_\_\_\_

### Algemene werking

Werking stuurventiel	<input type="checkbox"/> goed	<input type="checkbox"/> niet* <sup>*)</sup>	<input type="checkbox"/> proportioneel
Conditie kettingen/lagers	<input type="checkbox"/> goed	<input type="checkbox"/> slecht*	
Lekkages	<input type="checkbox"/> neen	<input type="checkbox"/> ja*	
Kwaliteit olie	<input type="checkbox"/> goed	<input type="checkbox"/> slecht*	
Oliemonster genomen + analyse	<input type="checkbox"/> ja		
Filterconditie`	<input type="checkbox"/> goed	<input type="checkbox"/> matig*	<input type="checkbox"/> slecht*
Interval filter	_____ uur		
Oliepeil	<input type="checkbox"/> goed	<input type="checkbox"/> te weinig*	
Conditie leidingen/slangen	<input type="checkbox"/> goed	<input type="checkbox"/> slecht*	fabricagejaar: _____
Zekering motor	<input type="checkbox"/> goed	<input type="checkbox"/> niet*	<input type="checkbox"/> auto Ampère: _____
Zekering stuurstroom	<input type="checkbox"/> goed	<input type="checkbox"/> niet*	<input type="checkbox"/> Auto Ampère: _____

Bijzonderheden/afwijkingen: \_\_\_\_\_

\*) De met een \* gemarkeerde velden moeten bij 'bijzonderheden' verklaard worden!

### Pompen (actuele situatie)

	Hoofdpomp 1 (mech)	Hoofdpomp 2 (mech)	Elektr. pomp	Noodpomp
<i>Soort</i>			___ v ___ kW	___ v ___ kW
Type				
Rondpompdruk	bar	bar	bar	Bar
Pompveiligheid	bar	bar	bar	Bar
Stuurdruk	bar	bar	bar	Bar
Olieopbrengst	Ltr/min	Ltr/min	Ltr/min	Ltr/min
Stuursnelheid	°/sec	°/sec	°/sec	°/sec
Montageplaats				
Aandrijving dmv				
Conditie				

Roeruitslag: 2 X \_\_\_\_\_ ° Aantal+soort cilinder: \_\_\_\_\_

Bijzonderheden/afwijkingen: \_\_\_\_\_

---



---



---

### Bediening (ergonomische aspecten; zie ook NEN-EN 1864/97)

Werking/verlichting roerstand  goed  niet\* Uitslag 2x \_\_\_\_\_ °  
 Leesbaarheid dag/nacht  goed  slecht\*  dimmogelijkheid  
 Werking/verlichting schakelaars  goed  niet\*  
 Is onbedoeld aansturen mogelijk?  Neen  ja\*  
 Omschakeling/bediening noodroer  logisch  onlogisch\*  
 Functieopschriften  duidelijk  onduidelijk\*  niet\*

Bijzonderheden/afwijkingen: \_\_\_\_\_

---



---



---

### Alarmering

Drukuitval  goed  niet\*  ontbreekt\*  
 Spanning stuurventiel  goed  niet\*  ontbreekt\*  
 Fase-uitval/overspanning  goed  niet\*  ontbreekt\*  
 Olieniveau  goed  niet\*  ontbreekt\*  
 Noodroer  goed  niet\*  roerstand?

Bijzonderheden/afwijkingen: \_\_\_\_\_

---



---



---

**Roeren**

Aantal \_\_\_\_\_ Soort \_\_\_\_\_ Fabrikant \_\_\_\_\_

*Functioneren:* \_\_\_\_\_

Bijzonderheden/afwijkingen: \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

**Piloot**

Merk+type: \_\_\_\_\_

Merk+type bochtaanwijzer: \_\_\_\_\_

Plaats girotol: \_\_\_\_\_

Conditie+werking: \_\_\_\_\_

Bijzonderheden/opmerkingen: \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

**Eindresultaat**Oorzaak uitval vastgesteld  ja  neen  n.v.t.Oorzaak  elektrisch  hydraulisch  mechanischGebreken vastgesteld (niet oorz uitval)  ja  neen  n.v.t.Fouten uitval vastgesteld (niet oorz. uitval)  ja  neen  n.v.t.Vervolgonderzoek nodig  ja  neen

Oorzaak samengevat: \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

*Deze checklist is herschreven vanaf inspectierapport A. van der Velden bv Rotterdam*

Opmerkingen voor verbetering checklist: \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

## **Tekening installatie**

## **BIJLAGE 2: TECHNISCHE ONGEVALSOORZAKEN**



## TECHNISCHE ONGEVALSOORZAKEN

De geconstateerde gebreken van de stuurmachines en de daarbij horende installaties zijn onder te verdelen in de volgende categorieën:

- Ontwerp,
- Hydrauliek (o.a. voorraad tanks, leidingsystemen, stuurventielen, filters, hydrauliekolie),
- Elektrische systemen (o.a. besturing en overige elektronica, voeding, afscherming tegen invloeden van buitenaf),
- Mechanica (o.a. assen, lagers, tandwielen),
- Alarmering.

### Primair en secundair

Onderscheid wordt gemaakt tussen primaire gebreken die het ongeval hebben veroorzaakt en secundaire gebreken die hebben bijgedragen aan het ontstaan van roeruitval of op korte termijn roeruitval hadden kunnen veroorzaken.

Als secundaire fouten worden aan gemerkt veiligheidstekorten die een gevaar zijn voor het veilig en duurzaam gebruik van de installatie, doch bij de oorzaak van het ongeval geen causaal verband hadden.

In de onderstaande opsomming staan de aangetroffen gebreken of storingen in stuurmachines gegroepeerd. Elk aandachtstreepje geeft een of meerdere fouten aan. Bij diverse stuurmachines werden meerdere gebreken gevonden. Ook werden technische gebreken gevonden in stuurmachines waarbij 'techniek' niet de causale factor was voor het roeruitval.

## Algemeen

### Ontwerp

#### Primair

- Bij een schip was een bestaande oude installatie gedeeltelijk vernieuwd. Omdat de werkdruk niet overeenstemde met de benodigde vermogen (te gering) om het oude mechanische gedeelte aan te drijven, ontstond roeruitval.
- Bij een schip was het ontwerp van het roer zodanig, dat het roer zowel mechanisch (elektrisch aangedreven) als met de hand aangedreven '2<sup>de</sup> aandrijving' erg veel vermogen eiste. De elektromotor raakte hierdoor regelmatig defect en het schip was handmatig moeilijk te sturen. De balans van het roer was te groot in verhouding tot de oppervlakte van de rest van het roer.
- Bij een schip waren in de loop der jaren zoveel aanpassingen aangebracht dat de bemanning niet meer op de hoogte was van de juiste bediening van de hydraulische stuurmachine. Het noodroer (servo-stuurwiel) functioneerde niet. Er ontbrak een keuzeventiel (hoofd / noodroer) In verband met de slechte conditie van de accu's, moest de hulpmotor continue in bedrijf zijn. Daardoor draaide een noodhydropomp steeds mee. Er was teveel opbrengst van hydrauliekolie, hetgeen via het overdrukventiel teruggestort werd in de tank. Dit was er de oorzaak van dat de olie zeer heet werd. Dit had tot gevolg dat er veel lekkages ontstonden. Er was geen enkel alarm aangesloten of in werkende staat. Het olieniveau kon alleen manueel afgelezen worden. Er waren geen blusdiodes in het circuit van de stuurmachine ingebouwd, waardoor de contacten van de gebruikte schakelrelais ingebrand waren.
- Voor het bedrijf van het schip moest een generator (220 / 380 volt) continue in bedrijf zijn. Aan deze generator was een niet uitschakelbare hydropomp voor de stuurmachine aangesloten. Hierdoor was de omloopsnelheid van de hydrauliekolie te hoog en werd de olie, door hoge druk en het overstorten via het overdrukventiel, erg heet.
- Bij één schip was een ontwerpfout ontstaan door de diverse wijzigingen aan het schip en de stuurmachine. Er was een motor met ongeveer 25% meer vermogen geplaatst. Het schamiermechanisme van het stabilo-roer was versleten en om die reden vastgelast en geblokkeerd. Ook was de balans van het roer vergroot. Hierdoor was het roer aanmerkelijk zwaarder gaan sturen. Hand aangedreven was het schip op snelheid niet meer te sturen. De 24 volt elektromotor van de stuurmachine had zoveel vermogen nodig, dat de accu's uitgeput raakten met roeruitval tot gevolg. Het schip strandde tussen twee kribben van een rivier. Na het verwijderen van 35 cm plaatstaal van de stabilo en het plaatsen van een nieuwe set accu's functioneerde de stuurmachine weer naar behoren.

- Door hermotorisering was het vermogen 33% toegenomen. Bovendien was een straalbuis geplaatst. Hierdoor was door het sterkere en meer gebundelde schroefwater meer druk op de roeren komen te staan. Na de verbouwing was geen afdoende proefvaart gehouden. Toen het schip zijn eerste reis onder maximale belasting (door snelheid en belading) ondernam, bleek de stuurdruk te laag ingesteld en viel als gevolg hiervan de stuurmachine uit. Het schip botste tegen een brugpeiler.
- Door een fout in het ontwerp van de elektrische installatie van de stuurmachine kon de stuurmachine bediend worden, terwijl de hoofdschakelaar op uit stond. Echter het alarm en enige andere functies bleken wel uitgeschakeld. De spanning daalde tot onder 20 volt. Deze onderspanning werd door het uitstaande alarm niet signaleerd. Er ontstond roeruitval.
- Bij een onderzocht schip waren de componenten van de stuurmachine samengesteld uit tweedehands materiaal van andere schepen. Een en ander was door de schipper zelf gemonteerd. Er bleken in het elektrische circuit enige ontwerpfouten te bestaan. Er was slechts één 24 volt – voeding (óók voor de ‘2<sup>de</sup> aandrijving’). De hoofdschakelaar voor het hoofdsysteem schakelde ook gelijk de ‘2<sup>de</sup> aandrijving’ uit (bij een storing kon het hoofdsysteem niet uitgeschakeld worden zonder eveneens de ‘2<sup>de</sup> aandrijving’ uit te schakelen). Tevens waren er diverse andere functies aan het systeem aangesloten, die de storingskans verhoogden.
- Een schip met twee voortstuwingsmotoren had slechts één hydraulische pomp. Elk paar roeren kon met een gescheiden stuurventiel bediend worden. Er was geen ‘2<sup>de</sup> aandrijving’. Bij storing aan pomp of overdrukventiel, kon niet meer gestuurd worden.

## Hydraulisch

### Leidingstelsel/slangen/lekkages

#### Primair

- Bij een schip was een slang gesprongen. De stuurmachine diende tevens als aggregaat voor de ankerlier op het achterschip en de ankerlier op het voorschip. Vanaf de hydrauliekpomp werd de hydrauliekolie eerst langs de hydromotor van de ankerlier op het achterschip, via de hydromotor van de ankerlier op het voorschip naar het stuurventiel van de stuurmachine geleid. Verder waren voor het stuurventiel voor bediening van de roeren nog aftakkingen gemaakt voor een hydraulische stuurhuislift en hydraulisch bediende beunkleppen. De slang verbond het leidingsysteem met een hydraulische aandrijving van de ankerlier op het voordek. Hierdoor ging hydrauliekolie verloren totdat de voorraadtank leeg was en het systeem niet meer functioneerde.

#### Secundair

- Hydraulische leidingen door een ballasttank, waren op elkaar gelegd, waardoor als gevolg van slijtage de leidingwanden deels weggesleten waren.
- Bij vijf schepen werden ernstige lekkages gevonden. Leidingen waren (door)geroest, koppelingen lekten. Bij een schip werden hydraulische slangen aangetroffen waarvan de buitenmantel door veroudering en van temperatuur en verf hard en poreus waren geworden.
- Bij vijf schepen werd het hydraulische systeem voor de stuurmachine gebruikt als aggregaat voor andere werktuigen, zoals hefbare stuurhuizen en luikentransportsystemen. Bij drie van de schepen waren deze hulpsystemen op de aanvoerleiding (voor het stuurventiel van de stuurmachine) aangesloten. Bij een schip was een ruimluiken-hefinstallatie aangesloten met enkelwerkende cilinder. Hierdoor had de stand van de cilinder (inhoud circa 3 liter) invloed op het olieniveau in de voorraadtank.
- In vijf gevallen waren de hydraulische slangen door veroudering hard en poreus geworden.
- In vier gevallen waren leidingen met trekbandjes of touw bevestigd.

## Lekkages

- Bij tien schepen werden ernstige lekkages (geschat olieverlies > 1 liter/etmaal bedrijf) van het leidingsysteem aangetroffen.
- Bij drie van deze schepen werd de lekkage nog verergerd omdat de omloopsnelheid (meerdere pompen) van de hydrauliekolie te hoog was, waardoor deze olie heet en daardoor dunner werd.
- Een pomp had lekkage langs de aandrijfas. De keerring liet als gevolg van slijtage olie door.



## Tank/compartimenten

- Bij twee schepen was slechts één compartiment aanwezig. Doordat als gevolg van een slangbreuk alle olie verloren was gegaan, kon ook de '2<sup>de</sup> aandrijving' niet functioneren.

## Werkdruk

- Bij een schip bleek de werkdruk van de stuurmachine te laag. Onder bepaalde omstandigheden kon de stuurmachine de roeren niet tegen de krachten veroorzaakt door o.a. zuiging en schroefwater in duwen, waardoor een aanvaring ontstond.

## Pompen

- Bij een schip was de mechanisch aangedreven hulppomp afgekoppeld. Er bleef alleen een op de schroefas aangedreven en een op een 24 V-motor aangesloten hydropomp over.

## Stuurventielen

### Primair

- Bij een schip werden loszittende stuurventielen aangetroffen. Hierdoor kon de regelschuif niet meer vrij in het ventiel heen en weer gaan. Bovendien ontstond hierdoor lekkage (secundair). Door het weigeren van het stuurventiel ontstond een aanvaring.
- Zonder stuurcommando was het roer stuurboord aan boord gelopen. In de retourfilter werden pakkingresten gevonden. Mogelijk hebben deze resten het stuurventiel geblokkeerd.

### Secundair

- Bij een stuurmachine was de '2<sup>de</sup> aandrijving' door middel van een eigen leidingsysteem aangesloten op de hydrauliekcilinders. Aangezien op dit leidingsysteem geen sperblok was gemonteerd, kon bij bedrijf met de hoofdinstallatie, olie weglekken via het leidingsysteem van de '2<sup>de</sup> aandrijving'.

## Temperatuur olie

- Zie bij lekkage.
- Het doorstroomregelventiel was verwijderd, waardoor steeds de maximale hoeveelheid olie gepompt werd en de olie hierdoor erg heet werd.

## Filters

- Bij twee schepen bleek het retourfilter zodanig ernstig vervuild dat dit de doorstroomsnelheid beïnvloed heeft. Bij een van de schepen werd een aanzienlijke hoeveelheid ijzervijlsel in het magneetfilter aangetroffen.
- Bij een schip was het magneetfilter verzadigd met metaalslijpsel. Ook het retourfilter was sterk vervuild met een zwart gekleurde brij. Op het filter was een bypass / overdrukventiel aangesloten. Bij een vervuild filter werd de olie ongefilterd om het filterhuis geleid.
- In een retourfilter werd een afgebroken onderdeel van een doorstromingsensor (alarm bij druk- of doorstroomuitval) gevonden.

## Niveauctrole

- Bij twee schepen waren de peilglazen van de voorraadtank van de stuurmachine zodanig vervuild, dat het niveau niet meer af te lezen was.
- Bij een schip bleek het niveau tevens onder het minimum (onder het niveau van het peilglas) te staan.

## Elektrische systemen

### Primair

- Bij één van de twee schepen met een intermitterende elektrisch aangedreven stuurmachine, was de dynamo (24 volt gelijkspanning) te zwak. Dit kwam mede omdat de balans van het roer relatief groot was en met name bij het 'terug sturen' veel kracht vereist werd (zie ook onder mechanica, roeren). Na ongeveer 2500 bedrijfsuren (~9 maanden) was de collector van de dynamo doorgebrand, waarna de stuurmachine uitviel. Deze storing was gedurende de 5 jaar die de betreffende schipper op het schip voer, zeven maal eerder voorgekomen. Doordat de schipper niet tijdig kon overschakelen op de 'hand aangedreven' stuurinrichting en ook omdat deze evenredig 'zwaar' ging, kwam het schip in aanvaring met de oever.
- Er ontstond kortsluiting in een printplaat, waardoor een onbedoelde stuurstroom naar het ventiel liep. Het roer liep aan boord. De schipper kon niet tijdig overschakelen op de '2<sup>de</sup> aandrijving' waardoor een aanvaring ontstond.
- Bij twee ongevallen was door kortsluiting in de koersautomaat het roer aan boord gelopen. De schipper kon met de '2<sup>de</sup> aandrijving' deze roeruitval niet tijdig corrigeren. Een schip voer tegen de oever. Het andere kreeg een aanvaring met ander schip. Bij een van de ongevallen was een defect relais in de koersautomaat de oorzaak. De contacten waren ingebrand. Er was geen blusdiode aangebracht.
- Het verbruik in relatie tot het vermogen van de accu's was niet in balans. Bij hoge afname van de 24 volt – installatie, zakte de spanning onder de 20 volt. Hierdoor konden de stuurventielen van de stuurmachine niet meer bediend worden en ontstond er roeruitval. Het schip botste tegen de oever.
- Doordat bedrading was ontdaan van de isolatiemantel konden deze elkaar raken en ontstond kortsluiting. De stuurmachine viel uit en het schip kreeg een aanvaring met een meerstoel.
- Een bedieningspaneel lag los op het dashboard. De stekkers zaten los. Door het paneel te bewegen ontstonden losse contacten en viel de stuurmachine uit. Door deze losse contacten kon de '2<sup>de</sup> aandrijving' ook niet ingeschakeld worden en kwam het schip in aanvaring met de oever.
- 

### Secundair

- Smeltzekeringen waren met draadjes doorverbonden. Afdekplaatjes van lasdozen ontbraken, zodat elektrische contracten bloot lagen.

## Instrumentenverlichting

- Bij een schip werkte de instrumentenverlichting niet.
- Bij drie schepen werkte de verlichting van de roerstandaanwijzer niet.
- Bij vijf schepen was er geen verlichting voor de instrumenten en bedieningsorganen van de stuurmachine.
- Bij vier schepen was er geen dimmogelijkheid van de instrumentenverlichting.
- Bij een schip werkten o.a. de roerstandaanwijzerverlichting en de 'in bedrijf' signalering niet, zodat deze instrumenten bij duisternis niet af te lezen waren.

## Blusdiodes/relais

### Primair

- Bij een schip raakten schakelrelais regelmatig defect. Dit veroorzaakte regelmatig roeruitval. Het tankschip kreeg hierdoor een aanvaring met de oever. Er was geen blusdiode in het elektrische systeem aangebracht. Door de piekspanningen ontstonden grote vlambogen bij het schakelen van het relais waardoor de contactpunten ingebrand raakten.

## **EMC-afscherming**

### Primair

- Bij een schip liep het roer zonder een commando aan te geven bakboord aan boord, waardoor het schip tegen de oever aan voer. Dit gebeurde tijdens een telefoongesprek met een mobiele telefoon (zendvermogen maximaal 8 Watt). Na beëindiging van het telefoongesprek functioneerde de stuurmachine weer normaal. Bij de betreffende stuurmachine was geen enkele rekening gehouden met afscherming tegen elektromagnetische straling.

### Secundair

- Bij elf schepen waarvan de stuurmachine aan een technisch onderzoek is onderworpen, bleek dat het elektrische systeem van de stuurmachine niet was beschermd tegen elektromagnetische straling.
- Bij een schip was duidelijk zichtbaar dat de stand van de roerstandaanwijzer circa 5 graden versprong als de alarmering van de stuurmachine ingeschakeld werd. De bekabeling was niet afgeschermd tegen elektromagnetische straling.
- De roerstandaanwijzer bewoog continue 5° heen en weer. Hoewel de apparatuur niet afdoende afgeschermd was tegen elektromagnetische stralen, kon de oorzaak op dat moment niet vastgesteld worden.

## **Roerstandaanwijzer/voeding**

- Bij twee schepen was bij de '2<sup>de</sup> bediening' de roerstandaanwijzer buiten bedrijf, waardoor de schipper de stand van de roeren niet meer kon aflezen.
- Bij het wegvallen van de intermitterende voeding van de stuurmachine was geen alarmering om de schipper te waarschuwen voor deze roeruitval.
- Bij een schip was de roerstandaanwijzer gekoppeld aan de hendel van de wegafhankelijke bediening. Deze gaf dus niet de actuele roerstand aan maar van de hendel, die op 50 cm afstand op hetzelfde dashboard gemonteerd was. Bij roeruitval of bij een volgfout kon de schipper niet de stand van de roeren aflezen.

## **Stekers/contacten**

### **Loszitten/trillen**

- Stekkers op stuurventielen zaten bevestigd met trekbandjes. De bevestigingsboutjes ontbraken. De stekkers konden makkelijk lostrillen.

## **Voeding**

### Te laag

- Bij twee schepen bleek de voeding van het boordnet (24 volt) te laag en viel de stuurmachine hierdoor uit.

## **Gescheiden voedingen stuurventielen**

- Bij een schip waren beide stuurventielen aangesloten op hetzelfde stroomcircuit. Bij storing in dit circuit kan zowel niet meer op het hoofdsysteem als op de '2de aandrijving' gestuurd worden.

## **Mechanica**

### **Tandwielen**

#### Secundair

- Bij twee schepen werd speling gevonden bij in elkaar grijpende tandwielen. Deze speling (>0,5 mm) was ontstaan door slijtage.
- Bij een schip waren de ketting en de tandwielen, die de axiale kracht overbrachten op het roer, sterk versleten. Tandem van de tandwielen waren tot de helft van hun oorspronkelijke omvang afgesleten.

## Kettingen/rollen

### Secundair

- De ketting van de roerkoning naar de geveer van de roerstandaanwijzer correspondeerde niet met de tandgrootte van de gebruikte tandwielen. Mede omdat de tandwielen niet in lijn met elkaar waren gemonteerd, was het mogelijk dat de ketting van de tandwielen liep en er een opvolgstorage kwam van het wegafhankelijk bediende stuurwerk.
- Kettingen tussen tandwielen op de roerkoningen en de hydromotor hingen slap. Door gebrek aan smeermiddel waren de kettingen geroest en vertoonden op sommige plaatsen haarscheurtjes.

## Lagers

- Bij zeven schepen vertoonden de lagers die de stuurcilinders draaibaar verbinden met de fundatie en de roeren, ernstige slijtage (> 0,8 mm).
- Alle draaipunten hadden meer dan 8 mm speling. Sommige lagers piepten bij het bedienen van de stuurmachine.

## Roeren

- Bij een schip was de balans van het balansroer zo groot dat het 'terugsturen' (van roeruitslag naar bakboord of stuurboord terug naar de middenstand) meer kracht kostte dan het sturen. Hierdoor verbrandden de wikkelingen van de elektromotor. Door deze roeruitval kwam het schip in aanvaring met de oever.

## Synchronisatie

- Een hand aangedreven stuurwerk was bekrachtigd door een elektromotor op 24 volt. Voor de synchronisatie tussen roeren enerzijds en de roerstandaanwijzer en wegafhankelijke bediening anderzijds, was het asje van een potmeter met kunststofslang en draadklemmen aan een asje van het stuurwerk verbonden. Door slijtage had de potmeter in de omgeving van de middenstand (roer in de midden) een zwaar punt. Mede doordat het slangetje door ouderdom uitgehard was gleed dit over het asje en liepen de roeren niet meer synchroon met de bediening. De schipper voer een haven uit en verwachtte, gezien de stand van de wegafhankelijke bediening, dat de roeren bakboord aan boord stonden. Deze stonden echter in de middenstand, waardoor een aanvaring ontstond.

## Alarmering

### Primair

- Een fabrikant heeft het niveaularm 10 cm boven de zuigmond van de hydromotor geplaatst. Hierdoor is bij lekkage slechts een buffer van ongeveer 10 liter hydrauliekolie aanwezig. Afhankelijk van de opvoercapaciteit van de hydropomp zou de pomp na verloop van enige seconden lucht aanzuigen en was sturen niet meer mogelijk.
- Bij een schip was geen volgalarm<sup>10</sup>. Hierdoor ontdekte de schipper de storing aan de stuurmachine pas aan het 'afwijkende gedrag' van zijn schip en gingen kostbare seconden verloren voor de schipper de '2<sup>de</sup> bediening' inschakelde. Door het roeruitval ontstond een aanvaring met een ander schip.
- Bij een schip was geen akoestisch alarm bij uitval van de stuurmachine. Ook het gloeilampje van de 'in bedrijf' signalering was defect. De schipper had, doordat de kabel van de marifoonhoorn achter de noodroer-joystick bleef hangen, onbedoeld het noodroer ingeschakeld. Doordat de alarmering / signalering hiervan niet functioneerde, werd de roerganger hierop niet geattendeerd en botste het schip tegen de oever.

### Secundair

- Bij een schip werd bij het uitvallen van het hoofdsysteem (of bij het inwerking gaan van de '2<sup>de</sup> aandrijving') alleen een optisch alarm gegeven. Een akoestisch alarm was niet aanwezig.

---

<sup>10</sup> Volgalarm: een alarm dat afgaat als de stuurmachine niet reageert op het gegeven roercommando.

- Bij twee schepen was geen alarm voor het wegvallen van de hydraulische druk aanwezig.
- Een akoestisch alarm (claxon) functioneerde niet, omdat een kabel was afgekoppeld.
- Bij een schip was het akoestisch alarm defect.
- Alle signaleringsgloeilampen waren defect. Omdat ook het akoestisch alarm defect was konden storingsmeldingen niet waargenomen worden.
- In een stuurinrichting was alleen een signalering voor het geval de '2<sup>de</sup> bediening' in werking was. Alle andere beveiligingen en signaleringen waren niet aanwezig of defect.
- De bekabeling van de geveer van het niveaualarm was afgeknipt. Verder ontbrak bij dit schip de alarmering voor te lage of te hoge spanning en de in bedrijf-signalering van de '2<sup>de</sup> bediening'.



## **BIJLAGE 3: WET- EN REGELGEVING EN BESCHRIJVING STUURMACHINE**





## **WET- EN REGELGEVING EN BESCHRIJVING STUURMACHINE**

### **Wet- en regelgeving**

Wet- en regelgeving technische- en uitrustingsseisen voor binnenschepen.

In algemene zin uitgelegd kent de binnenvaart twee regelgevende regimes: Nederlandse wetgeving en wetgeving gericht op de internationale Rijnvaart.

### **Nederlandse wetgeving**

De wettelijke grondslag ligt in de Binnenschepenwet (BSW). De bouwtechnische en uitrustingsseisen zijn opgenomen in een Algemene maatregel van bestuur (Amvb): het Binnenschepenbesluit (BSB).

### **Wetgeving internationale Rijnvaart**

De wettelijke grondslag ligt in een multilateraal verdrag, de herziene Rijnvaartakte (akte van Mannheim) De bouwtechnische en uitrustingsseisen staan in het Reglement Onderzoek Schepen op de Rijn 1995 (ROSR). Voor Nederland is de implementatie van het ROSR geregeld in de Binnenschepenwet.

### **82/714/EEG**

Het BSB is mede tot stand gekomen als implementatie van de richtlijn van de Raad van de Europese Gemeenschappen van 4 oktober 1982 (82/714/EEG) tot vaststelling van de technische voorschriften voor binnenschepen. In het Rijnvaartregiem was door de CCR al eerder het ROSR (1976) uitgebracht. De meeste binnenschepen zijn voorzien van een Certificaat van Onderzoek (CvO), afgegeven op grond van het ROSR. Op grond van de Binnenschepenwet mogen deze schepen gebruik maken van alle Nederlandse binnenwateren.

Binnen het Directoraat-generaal Energie en Vervoer (DG-TREN) wordt gewerkt aan de herziening van richtlijn 82/714/EEG. Er is nog geen zicht op de datum waarop de herziene richtlijn gereed zal zijn. Daarom zal het nog een onbepaalde tijd duren tot (op enkele vaarwater specifieke regels na) dat in de gehele Europese Unie dezelfde technische regels gelden voor binnenschepen.

### **ECE Resolutie 17**

De Economische Commissie voor Europa (ECE) van de Verenigde Naties (VN) te Genève heeft resolutie 17 uitgebracht. Momenteel wordt door de ECE gewerkt aan een herziening van Resolutie 17. De indeling zal nagenoeg aansluiten bij Bijlage II van de te wijzigen richtlijn 82/714. Hoofdstuk 1 tot en met 16 zijn gereed en voorgelegd aan het Inland Transport Committee van de ECE. Verwacht wordt dat deze herziening in 2004 gereed zal zijn.

Resolutie 17 is een standaard modelreglement voor technische en uitrustingsseisen voor binnenschepen, met als doel om deze technische en uitrustingsseisen voor het hele Europese continent te harmoniseren.

### **Soorten stuurmachines**

Vanuit de geldende wetgeving en vanuit de praktijk bezien, zijn er in de binnenvaart acht typen stuurmachines:

- Handbediend en aangedreven<sup>11</sup>(mechanisch, as, ketting, tandwiel e.d.)
- Handaandrijving (handbediende hydrauliekpomp op haspel)
- Handaandrijving met elektrische hulp (varend: hand; manoeuvreren elektrisch)
- Handaandrijving met draaiversneller (hulpinrichting)
- Intermitterend (alleen vermogen bij sturen) elektrisch.
- Intermitterend elektrisch aangedreven hydraulisch
- Continue elektrisch (continue draaiende motor met koppeling bb/sb)
- Continue elektrisch of mechanisch aangedreven hydraulisch

---

<sup>11</sup> In de regelgeving wordt gesproken over handaandrijving.

Van de onderzochte ongevallen hadden de betreffende schepen de volgende stuurmachines:

- 1 maal handaandrijving met elektrische hulp (varend: hand; manoeuvreren elektrisch)
- 2 maal intermitterend (alleen vermogen bij sturen) elektrisch.
- 30 maal continue elektrisch of mechanisch aangedreven hydraulisch

### **Bediening**

#### **Handaandrijving, mechanisch of hydraulisch**

Hoewel niet voorgeschreven, beschikken nagenoeg alle binnenschepen die nog bestuurd worden door een handaandrijving, over een handstuurwiel. Enige historische schepen en sommige schepen zonder vast opgebouwd stuurhuis (zoals werkvaartuigen, dekschuiten e.d.) sturen door middel van een helmstok.

De overbrenging tussen handstuurwiel en roer vindt plaats door een assenstelsel, tandwielen of kettingen.

Ook zijn er handgedreven stuurmachines, waarbij aan het handstuurwiel een hydraulische pomp verbonden is. Door het verdraaien van het handstuurwiel wordt olie door een leidingstelsel gestuwd naar een cilinder aan het roer. De werking van deze stuurmachine berust uitsluitend op handaandrijving. De sturbeweging wordt niet bekrachtigd door mechanisch of elektrisch aangedreven pompen.

Verder zijn er ook handgedreven stuurmachines die ook door een elektromotor aangedreven kunnen worden. Het systeem van kettingen, assen en/of tandwielen blijft in gebruik, echter de aandrijving gebeurt in plaats van met het stuurwiel, met een schakelaar en de genoemde elektromotor. In dat geval moet uiteraard voor de veiligheid, het stuurwiel uitgeschakeld kunnen worden.

In de onderzoekstermijn van het thema 'roeruitval' werden geen ongevallen gemeld waarbij schepen met een handgedreven stuurmachine betrokken waren. Er is geen onderzoek verricht naar dergelijke besturingen.

#### **Intermitterend**

Een intermitterend aangedreven stuurmachine is ogenschijnlijk hand aangedreven. Als echter het handstuurwiel bediend wordt, schakelt een hydraulisch of elektrisch systeem bij en bekrachtigt daarmee de sturbeweging. Het handstuur wordt bij het intermitterende systeem gebruikt voor de aansturing van het roer.

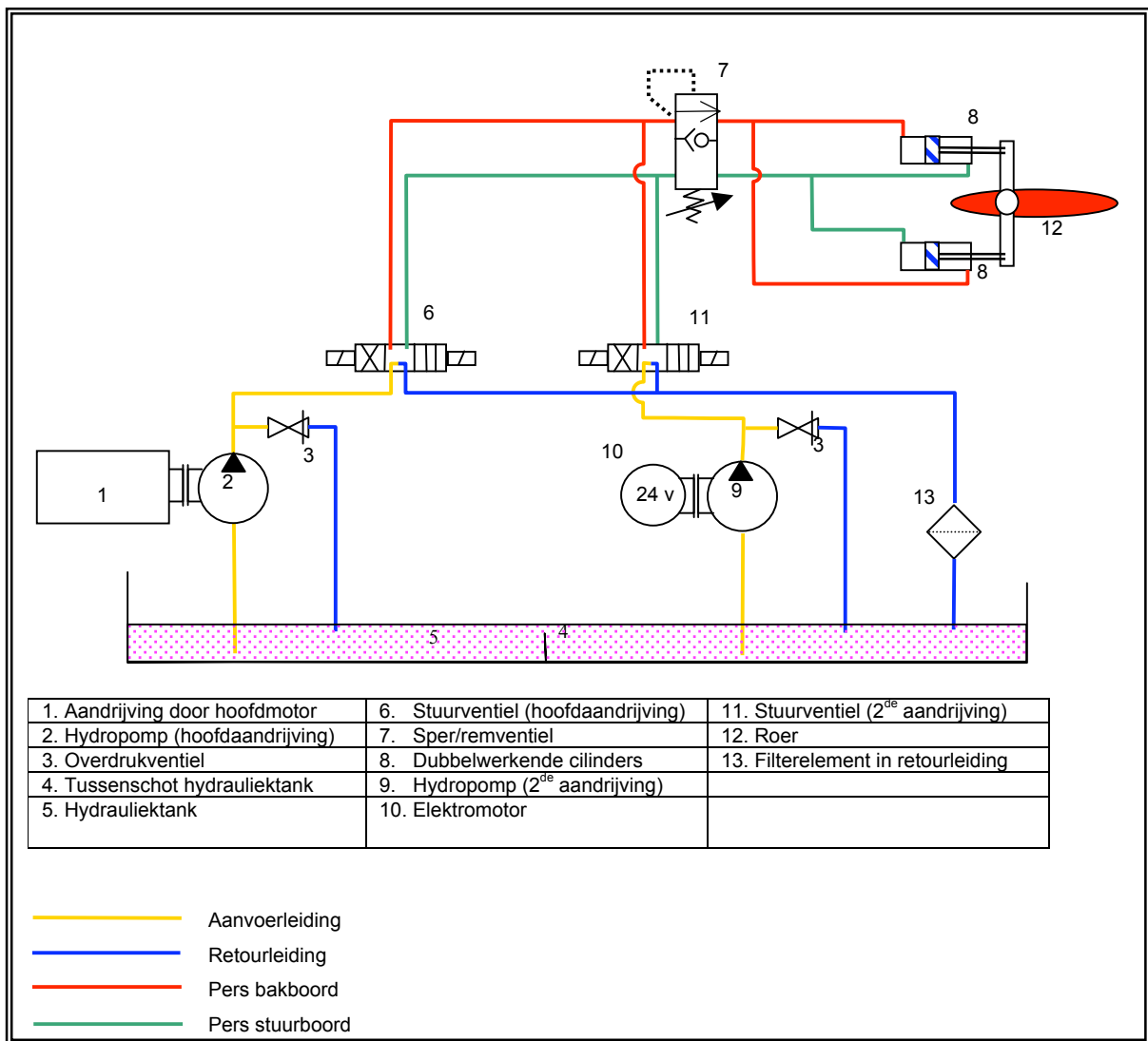
Bij twee van de onderzochte ongevallen was een dergelijke stuurmachine betrokken. In beide gevallen werd het roer aangedreven door een elektromotor. Deze werd van stroom voorzien door een door de hoofdmotor aangedreven generator.

#### **Hydraulische stuurmachine**

Veruit de meest gebruikte stuurmachine in de binnenvaart is de hydraulisch aangedreven stuurmachine. De meeste schepen, die betrokken waren bij ongevallen met roeruitval, waren uitgerust met een hydraulisch aangedreven stuurmachine.

Technisch gezien verstaat men onder – hydrauliek - het overbrengen en onder controle houden van krachten en bewegingen door middel van vloeistoffen.

Hydraulische systemen werken onder andere volgens de wetten van hydrostatica, de leer van vloeistoffen in rust, waarvan het grondbeginsel de Wet van Pascal is. Blaise Pascal formuleerde zijn natuurkundige wet als volgt: "de druk in een gecompriëerde vloeistof in rust zijnde plant zich in een gesloten vat in alle richtingen gelijkmatig voort." Deze wet geldt in de praktijk ook als de vloeistof door een leiding stroomt.



**Figuur 1:** Schematische weergave van een hydraulische stuurmachine

Bij een hydraulische stuurmachine wordt de kracht (vanaf de hoofdmotor, een hulpmotor of van een elektromotor) door middel van een pomp overgebracht op de stuurmachine. De kracht plant zich voort door middel van speciale hydrauliekolie. Deze hydrauliekolie circuleert via een stelsel van voorraadtank, leidingen, stuurventielen en cilinders. Als een stuurventiel door de roerganger wordt aangesproken, wordt de hydraulische kracht door middel van hydraulische cilinders direct overgebracht op het roer, dat daardoor van stand verandert. De stuurventielen laten de oliestroom linksom, rechtsom of terug richting tank van het hydraulische systeem gaan.

### Aansturing/bediening

Voor een hydraulisch aangedreven stuurmachine zijn voor de bediening van het stuurventiel twee mogelijkheden:

*Een mechanische bediening.* Het stuurventiel wordt direct door de roerganger bediend vanuit het stuurhuis.

*Elektrische bediening.* De stuurmachine wordt door een schakelaar, die door middel van een stuurstroom het ventiel bedient, in werking gesteld.

Verder is de bediening onder te verdelen in:

*Tijdfafhankelijk* (bakboord/stop/stuurboord schakelaar)

*Wegafhankelijk* (de stand van de stuurhendel correspondeert met de stand van het roer)

*Stuurautomaat* (een automaat die zelfstandig correcties uitvoert op de door de roerganger ingestelde koers of bocht – draaiing in °/min).

In stuurhuizen die geschikt zijn voor 'eenmansbediening'<sup>12</sup>, moet de bediening van de stuurmachine geschieden door een wegafhankelijk hendel.

### **Aandrijving**

Bij een 'mechanische aandrijving' moeten twee energiebronnen aanwezig zijn. Bij een storing moet een tweede aandrijving – de schipper spreekt doorgaans over 'noodroer' – aanwezig zijn. De benodigde energie om een hydraulische stuurmachine aan te drijven kan verkregen worden door:

- *Aandrijving door de hoofdmotor.* Direct aan de hoofdmotor of aan de continue draaiende zijde van een keerkoppeling wordt een pomp gemonteerd. Nadeel is dat het toerental van de hoofdmotor variabel is en daarmee ook de opbrengst van de hydropomp. Een en ander zal moeten worden gecompenseerd door hulpssystemen (extra elektrisch aangedreven pomp bij te lage druk of overdrukventielen bij te hoge druk).
- *Aandrijving door een aggregaat.* Deze door een dieselmotor aangedreven pomp moet wel binnen 5 seconden in bedrijf kunnen zijn.
- *Aandrijving door een elektrisch aangedreven pomp.* De benodigde elektriciteit wordt verkregen uit het boordnet (meestal 24 volt, maar ook 12 volt en 110 volt gelijkspanning). Ook wordt hiervoor een wisselstroommotor gebruikt. De 220 of 400 volt wisselspanning wordt verkregen van een door een dieselmotor aangedreven generator. Indien deze niet continu in bedrijf is, geldt weer de eerder genoemde maximale vijf seconden opstarttijd.

### **Inschakelen '2<sup>de</sup> aandrijving'**

Bij uitval of onbedoeld uitschakelen van het hoofdsysteem moet een alarm (akoestisch+optisch) gaan. Als de '2<sup>de</sup> aandrijving' handgedreven is mag tijdens het mechanisch gedreven bedrijf het stuurwiel niet meedraaien.

### **2<sup>de</sup> installatie**

Volgens de geldende regelgeving moet een 2<sup>de</sup> installatie aanwezig zijn bij mechanisch aangedreven stuurmachines. Besturing, aandrijving en leidingsysteem en tanks dienen dubbel uitgevoerd te zijn. De wettelijke regels staan echter voor nagenoeg alle onderdelen uitzonderingen/ontheffingen toe:

- Bij gebruik van een tank met een scheidingsschot, mag de tweede tank achterwege blijven. De hoogte van het scheidingsschot bepaalt de noodvoorraad hydrauliekolie voor de '2<sup>de</sup> installatie'. In de regelgeving is de hoogte van het scheidingsschot of de verhouding in volume tussen de compartimenten niet bepaald.
- Als het stuurventiel vanuit het stuurhuis handhydraulisch bediend kan worden, hoeft een tweede ventiel niet aanwezig te zijn. Handmatig kan men doorgaan meer kracht zetten op het ventiel. Bij een weigering van de elektromagnetische bediening door een oneffenheid in het ventiel, dient handmatig nog geschakeld kunnen worden.
- Een tweede leidingsysteem hoeft niet aanwezig te zijn als het leidingsysteem berekend is op 1,5 maal de maximaal te verwachten werkdruk en de werking van de 2<sup>de</sup> installatie via het hoofdleidingsysteem kan geschieden.

Wel moet de besturing en de aandrijving dubbel zijn uitgevoerd. Er moet voor zowel de besturing als de aandrijving een gescheiden en exclusieve energiebron aanwezig zijn.

Bij uitval van het hoofdsysteem moet automatisch of met een enkele handeling van de roerganger (het BSB staat twee handelingen toe) het noodroer ingeschakeld worden.

Het noodroer moet binnen vijf seconden na inschakeling operationeel zijn.

### **Elektromotoren**

Er zijn wettelijke eisen gesteld voor elektromotoren die stuurmachines aandrijven om een continu en storingsvrij bedrijf te garanderen.

---

<sup>12</sup> Om een schip tijdens slecht zicht (mist e.d.) door een persoon te laten navigeren moet het stuurhuis uitgerust en volgens een standaard ingericht zijn.

## Zekeringen

Elektrische circuits moeten gezekeerd zijn. Er zijn regels gesteld voor de maximale weerstand van deze zekeringen. Er mag alleen tegen kortsluiting gezekeerd worden.

## Signaleringen

*Kleuren, op welke wijze e.d.: zie ergonomie*

Op een mechanisch aangedreven stuurmachine moeten signaleringen aangebracht zijn, die de volgende situaties van de stuurmachine aangeven:

- Uitval of uitschakeling van het hoofdsysteem
- Uitval van buffers of het gehele systeem van de '2<sup>de</sup> aandrijving'
- Overbelasting aandrijving
- Fase uitval (bij draaistroom)
- Uitval voeding besturing en/of aandrijving
- Onderdruk hydraulische systeem
- Minimum oliepeil in buffertank
- Uitval, ontoelaatbare spanningswisselingen in de voeding en minimale rotatiefrequentie van de girotol van de stuurautomaat.

## De hydraulische stuurmachine

Een hydraulische stuurmachine is opgebouwd uit een aantal componenten, zoals pompen, leidingen, ventielen, cilinders en bedieningsinstrumenten, die ervoor zorgen dat als vanuit het stuurhuis de stuurmachine bediend wordt het roer de gewenste stand aanneemt.

## Stuurventielen

Er zijn verschillende soorten ventielen:

*Wegventielen*

*Regelventielen en*

*Blokkeerventielen*

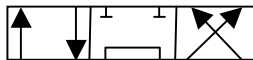
## Wegventielen

Wegventielen zijn de ventielen die de hydrauliekstroom aansturen. Een aantal aan- en afvoerleidingen is op een verdeelblok aangesloten. De in het verdeelblok heen en weer schuivende regelklep zorgt dat de vloeistofstroom in een bepaalde richting gestuurd wordt. In de middenstand wordt de olie zonder functie rondgepompt. Het roer blijft in zijn positie staan. In de zijstanden wordt de oliestroom linksom of rechtsom richting cilinders gestuurd. Het roer beweegt naar bakboord of stuurboord.

De ventielen kunnen handmatig of elektrisch bediend worden.

Er worden direct geschakelde of proportionele ventielen gebruikt. De directe (ook wel zwart/wit ventielen genoemd) worden direct geheel geopend of geheel gesloten. Dit geeft drukgolven in het hydraulische systeem. De proportionele ventielen worden geleidelijk gesloten of geopend.

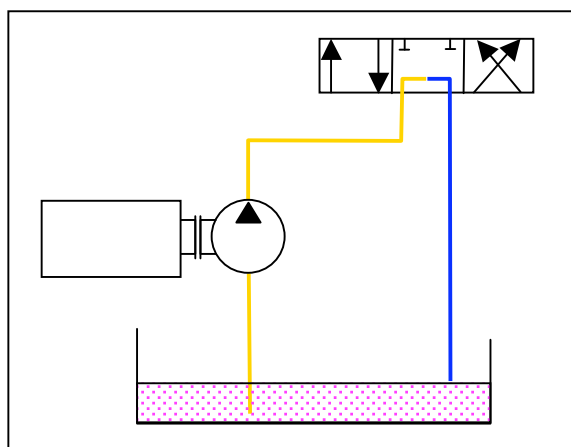
Proportionele kleppen kunnen doorgaans ook gedeeltelijk geopend worden, waardoor de doorstromingsnelheid en daarmee ook de snelheid van het roer geregeld kan worden.



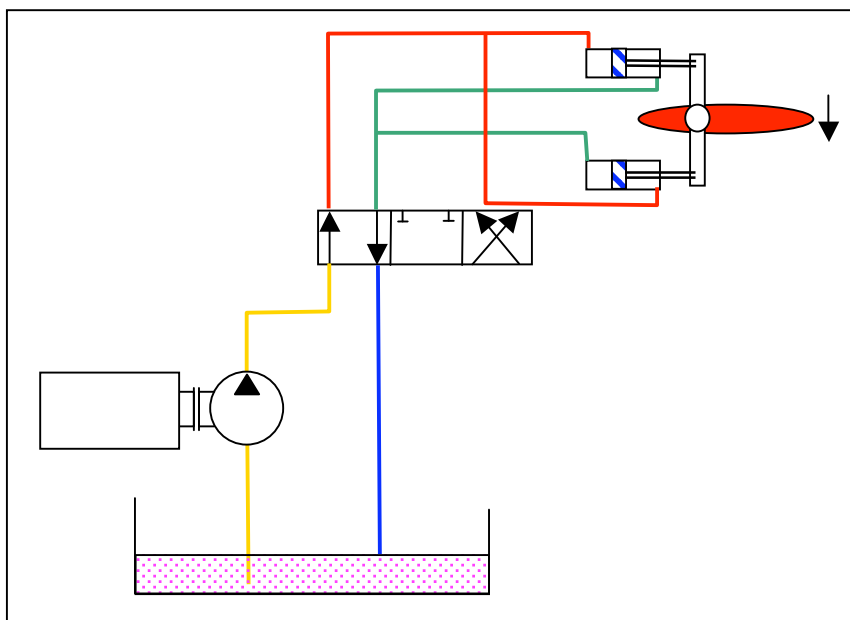
**Figuur 2:** Symbool van een ventiel



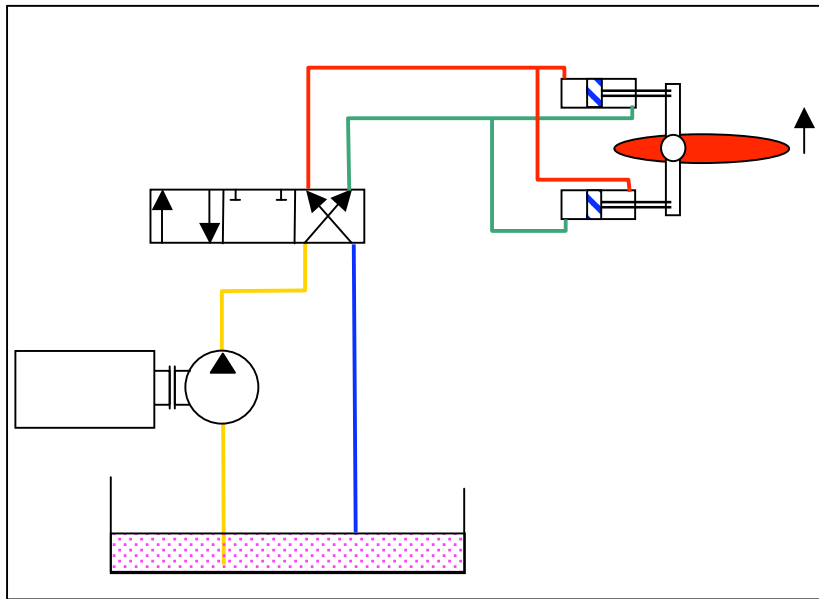
**Figuur 3:** Foto van een stuurventiel



**Figuur 4:** Schematische weergave van een stuurventiel in een stuurmachine in de neutrale stand. De hydrauliekolie stroomt via de hydropomp en het ventiel terug in de tank.



**Figuur 5:** Vereenvoudigd schema van een stuurventiel in een stuurmachine met de regelschuif links. De hydrauliekolie stroomt via de hydropomp en het ventiel richting cilinders en stuurt het roer naar bakboord.



**Figuur 6:** Vereenvoudigd schema van een stuurventiel in een stuurmachine met de regelschuif rechts. De hydrauliekolie stroomt via de hydropomp en het ventiel richting cilinders en stuurt het roer naar stuurboord.

### Regelventielen

Regelventielen begrenzen de drukken en de hoeveelheden van de hydrauliekolie in een stuurmachine.

Er zijn drukbegrenzers. Het ventiel laat een vast of in te stellen druk door. Het teveel aan hydrauliekolie wordt teruggestort in de tank. Ook in het bij stuurmachines ingebouwde sperblok is een overdrukventiel ingebouwd.

Een smookklep regelt de stroomsnelheid van hydrauliekolie en daarmee de snelheid waarmee de cilinders en de roeren worden uitgestuurd.

### Blokkeerventielen

Een blokkeerventiel stopt manueel aangestuurd of automatisch door bepaalde ontstane situaties de hydrauliekoliestroom.

Een terugslagklep laat alleen een oliestroom in een richting toe.

Een balanceerklep zorgt dat de oliestroom niet sneller kan gaan dan door het hydraulische systeem toegelaten. Voor stuurmachines houdt dit in dat het roer niet ongecontroleerd snel (door b.v. druk van het schroefwater) van positie kan veranderen.

### Hydrauliekolie

In hydraulische systemen wordt speciale hydrauliekolie gebruikt. Internationale kwaliteitseisen voor industriële toepassing van synthetische of minerale oliën staan in de ISO-norm 3448. Onder omstandigheden waarin stuurmachines in de Europese Rijn- en binnenvaart gebruikt worden, zou volgens deze standaard hydrauliekolie type ISO VG-32 gebruikt moeten worden.

## Filters

In een hydraulieksysteem kunnen op drie posities filters ingebouwd worden, die ongewenste verontreinigingen van de hydrauliekolie kunnen uitfilteren:

- *zuigfilters*,
- *persfilters* en
- *retourfilters*

*Zuigfilters* worden aan de aanzuigmond in de tank geplaatst. De fijnmazigheid van deze filters wordt bepaald door de capaciteit van de pomp. Bij een niet juiste afstemming kan cavitatie<sup>13</sup> ontstaan. *Persfilters* worden na de pomp geplaatst om te garanderen dat er geen verontreinigingen in het stuurventiel kunnen ontstaan.

In stuurmachines van binnenschepen worden meestal *retourfilters* geplaatst. Vlak voor de plaats waar de olie teruggestort wordt in de tank, wordt deze gefilterd.

Soms worden *magneetfilters* gebruikt om staaideeltjes uit de hydrauliekolie te filteren.

## Sperblok / remventiel

Als het roer niet bediend wordt, moet het ook daadwerkelijk in dezelfde positie blijven staan. Beide leidingen naar de stuurcilinders gaan via dit ventiel. Dit sperblok sluit de oliestroom van beide zijden af als er vanuit het stuurventiel geen circulatie tot stand komt. Ook werkt dit ventiel als een soort overdrukventiel als het roer door een kracht van buitenaf (in geval van een aanvaring, raken van oever of bodem) ongewild verdraaid wordt. Door de ontlasting wordt schade aan andere onderdelen van de stuurmachine voorkomen.

Bij leiding- of slangbreuk zal, als een sperblok is gebruikt, het roer in positie blijven of kan door de '2<sup>de</sup> aandrijving', mits daadwerkelijk geheel dubbel uitgevoerd, nog aangestuurd worden.

## Elektrische systemen

Voor het gebruik van kabels, lassen en koppelingen van kabels, schakelingen, bronnen en noodstroombronnen en zekeringen zijn in de wettelijke voorschriften regels gesteld.

Sinds de inwerkingtreding van het ROSR 1995 zijn voorschriften opgenomen over Elektromagnetische compatibiliteit (EMC).

## Elektromagnetische straling

Elektrische ladingen en stromen (bewegende elektrische ladingen) wekken een elektromagnetisch veld op. Onder bepaalde omstandigheden wordt dit ook wel elektromagnetische straling genoemd. Dit elektromagnetische veld kan op zijn beurt weer ladingen en stromen genereren in een ander elektrisch geleidend voorwerp. Dit wordt ook wel inductie genoemd.

Nagenoeg alle apparatuur veroorzaakt een bepaalde mate van elektromagnetische storing. Storing op het voedende net of via verbindingkabels in de richting van andere apparaten, maar ook storing in de vorm van uitgestraalde elektromagnetische energie. Dit laatste is vergelijkbaar met de straling van een radiozender. Met dit verschil dat een radiozender bedoeld is om deze straling op een gecontroleerde wijze op te wekken. Radiozenders, zoals marifoons, portofoons en mobiele telefoons, zijn dan ook een belangrijke bron van elektromagnetische storing. Voor de meeste apparaten is er echter meer sprake van een onbedoeld en ongecontroleerd bijproduct.

De elektromagnetische straling kan negatieve effecten tot gevolg hebben. Zo kunnen elektrische apparaten die elektromagnetische straling produceren, onbedoeld stromen opwekken in andere apparaten. Dit kan er voor zorgen dat dit andere apparaat slechter werkt of helemaal niet meer functioneert.

In een publicatie van een wetenschappelijk instituut zouden elektromagnetische stralingen volgens schattingen van deskundigen 70% van alle 'onbegrepen storingen' in apparatuur veroorzaken.

---

<sup>13</sup> Cavitatie: door plotselinge drukverlaging ontstaan er in de hydrauliekolie dampbellen als de druk daalt tot onder de dampspanning van de olie of van het eventueel in de olie aanwezige (condens)water. Bij druktoename imploderen de dampbellen, waarbij grote drukpieken en hoge temperaturen ontstaan. Een cavitierende pomp kan in enkele uren onherstelbaar beschadigd worden en de vervuiling van de olie die dit gevolg heeft kan de rest van het hydraulische systeem beschadigen.



### **Elektromagnetische compatibiliteit**

Bij elektromagnetische compatibiliteit (EMC) worden oplossingen gezocht om storing tussen de elektrische apparaten te voorkomen. De fundamenteen voor het vakgebied liggen in de wetten van Maxwell: meer dan 100 jaar oude formules voor de al eeuwig geldende elektrische en magnetische verschijnselen. Uit onderzoeken van deskundigen blijkt dat deze verschijnselen bijna niet te voorkomen zijn. De voor elektromagnetische beïnvloeding gevoelige apparatuur zal hiertegen beschermd moeten worden. Deze afscherming kan plaatsvinden door toepassing van aarding, lay-out en afscherming.

De Internationale Elektrotechnische Commissie (IEC) publiceert EMC standaarden, waarin de definitie van elektromagnetische compatibiliteit wordt vastgelegd in meetbare eisen voor een apparaat. Deze standaarden worden onder andere gebruikt voor nationale en ook Europese wetgeving. Dit betekent dat alle elektrische apparatuur moet voldoen aan bepaalde EMC standaarden.

De IEC definieert EMC als volgt:

'Elektromagnetische Compatibiliteit (EMC) is het vermogen van een toestel of installatie om te kunnen functioneren in een omgeving met een zekere (normale) hoeveelheid elektromagnetische storing. Tevens mag het apparaat met zijn uitgestraald vermogen geen aanleiding geven tot een verhoging van het storingsniveau in de omgeving'.

Elektromagnetische interferentie kan worden overgebracht door straling en geleiding. Geleiding speelt een belangrijke rol voor frequenties beneden de 10 MHz. Om dit te voorkomen dienen kabels en behuizingen afgeschermd te worden met magnetisch geleidende materialen. Hoe lager de frequentie, hoe dikker de afschermdende laag dient te zijn. Voor hogere frequenties (>40 MHz) is slechts een hele dunne laag van hooggeleidend materiaal benodigd. Hierbij is niet zozeer de laagdikte, maar meer de dichtheid van de afscherming (mate van onderbrekingen in de afscherming) van belang.



**BIJLAGE 4:** TABEL 'ONGEVALLLEN ROERUITVAL' RVTV-DATABASE REGISTRATIE  
ONGEVALLLEN SCHEEPVAART (ROS) 07-1999 TOT 08-2003



**TABEL 'ONGEVALLEN ROERUITVAL' RVTV-DATABASE REGISTRATIE  
ONGEVALLEN SCHEEPVAART (ROS) 07-1999 – 08-2003**

<b>1999</b>	<b>Techniek</b>	<b>Human Factors</b>	<b>Ergonomie</b>	<b>Onbekend<sup>14</sup></b>	<b>Totaal</b>
	<b>14</b>	<b>8</b>	<b>4</b>	<b>11</b>	<b>37</b>
<b>2000</b>	<b>Techniek</b>	<b>Human Factors</b>	<b>Ergonomie</b>	<b>Onbekend<sup>14</sup></b>	<b>Totaal</b>
	<b>18</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>2</b>	<b>33</b>
<b>2001</b>	<b>Techniek</b>	<b>Human Factors</b>	<b>Ergonomie</b>	<b>Onbekend<sup>14</sup></b>	<b>Totaal</b>
	<b>17</b>	<b>9</b>	<b>5</b>	<b>4</b>	<b>35</b>
<b>2002</b>	<b>Techniek</b>	<b>Human Factors</b>	<b>Ergonomie</b>	<b>Onbekend<sup>14</sup></b>	<b>Totaal</b>
	<b>26</b>	<b>17</b>	<b>0</b>	<b>6</b>	<b>49</b>
<b>2003</b>	<b>Techniek</b>	<b>Human Factors</b>	<b>Ergonomie</b>	<b>Onbekend<sup>14</sup></b>	<b>Totaal</b>
	<b>3</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>1</b>	<b>9</b>
<b>Totaal</b>	<b>Techniek</b>	<b>Human Factors</b>	<b>Ergonomie</b>	<b>Onbekend<sup>14</sup></b>	<b>Totaal</b>
	<b>78</b>	<b>42</b>	<b>19</b>	<b>24</b>	<b>163</b>

<sup>14</sup> De directe oorzaak van de roeruitval kon van deze ongevallen niet vastgesteld worden.



**BIJLAGE 5:** TABEL ONGEVALLLEN ROERUITVAL DATABASE  
RWS AVV 1994-1999





**TABEL 'ONGEVALLLEN ROERUITVAL DATABASE RWS AVV 1994-1999',<sup>15</sup>**

<b>1994</b>	<b>Techniek</b>	<b>Human Factors</b>	<b>Ergonomie</b>	<b>Onbekend<sup>16</sup></b>	<b>Totaal</b>
	<b>37</b>	<b>24</b>	<b>6</b>	<b>1</b>	<b>68</b>
<b>1995</b>	<b>Techniek</b>	<b>Human Factors</b>	<b>Ergonomie</b>		<b>Totaal</b>
	<b>27</b>	<b>16</b>	<b>6</b>		<b>49</b>
<b>1996</b>	<b>Techniek</b>	<b>Human Factors</b>	<b>Ergonomie</b>		<b>Totaal</b>
	<b>22</b>	<b>20</b>	<b>3</b>		<b>45</b>
<b>1997</b>	<b>Techniek</b>	<b>Human Factors</b>	<b>Ergonomie</b>		<b>Totaal</b>
	<b>30</b>	<b>11</b>	<b>0</b>		<b>41</b>
<b>1998</b>	<b>Techniek</b>	<b>Human Factors</b>	<b>Ergonomie</b>		<b>Totaal</b>
	<b>33</b>	<b>5</b>	<b>4</b>		<b>42</b>
<b>1999</b>	<b>Techniek</b>	<b>Human Factors</b>	<b>Ergonomie</b>		<b>Totaal</b>
	<b>19</b>	<b>8</b>	<b>10</b>		<b>37</b>

<b>Totaal</b>	<b>Techniek</b>	<b>Human Factors</b>	<b>Ergonomie</b>	<b>Onbekend</b>	<b>Totaal</b>
	<b>166</b>	<b>91</b>	<b>27</b>	<b>1</b>	<b>282</b>

<sup>15</sup> De vermelde aantallen zijn conservatief: bij relatief veel ongevallen in het databestand stond uitsluitend als omschrijving 'aanvaring' of 'aan de grond lopen'. Of dit het gevolg is geweest van roeruitval was niet bekend. Deze onduidelijke voorvallen zijn niet in de tabel opgenomen. De werkelijke aantallen gevallen van roeruitval kunnen dan ook groter dan vermeld zijn.

<sup>16</sup> De directe oorzaak van het roeruitval kon niet vastgesteld worden.



**BIJLAGE 6:** ZUIGING IN HET AMSTERDAM-RIJNKANAAL, MARIN, APRIL  
2003



**MARIN**  
2, Haagsteeg  
P.O. Box 28  
6700 AA Wageningen  
The Netherlands  
Phone +31 317 493911  
Fax +31 317 493245  
Internet [www.marin.nl](http://www.marin.nl)  
E-mail [info@marin.nl](mailto:info@marin.nl)

Report No. 17419-1-CPM/MSCN

**ZUIGING IN HET  
AMSTERDAM RIJNKANAAL**

**Final report**

April 2003

---

**ZUIGING IN HET AMSTERDAM RIJNKANAAL**  
**FINAL REPORT**

MARIN order No. : 17419

Ordered by : Raad voor de Transportveiligheid  
Postbus 65404  
2509 CK DEN HAAG  
Nederland

Reported by : Ir F.H.H.A. Quadvlieg and Ir F.S.H. Verkerk

## INHOUD

	Pagina
OVERZICHT VAN TABEL EN FIGUREN.....	3
1 INLEIDING.....	8
2 LITERATUURONDERZOEK.....	9
2.1 Effecten van beperkt water.....	9
2.1.1 De invloed van ondiep water.....	9
2.1.2 Invloed van de nabijheid van de oever.....	12
2.1.3 Invloed van taludhoek.....	15
2.1.4 Invloed van onder een hoek naar de oever varen.....	16
2.1.5 Effect van banken.....	17
2.1.6 Stuurautomaten.....	17
2.2 Zuiging tussen schepen onderling.....	18
2.2.1 Tegemoetvarende schepen.....	19
2.2.2 Oplopende schepen.....	22
2.3 Literatuurlijst.....	24
2.4 Definities.....	24
3 SAMENVATTING VAN LITERATUUR, TOEGESPITST OP DE BINNENVAART ..	25
3.1 Wanneer wordt zuiging belangrijk (snelheid).....	25
3.2 Wanneer wordt zuiging belangrijk (afstand tot de wal).....	26
3.3 Waterdiepte.....	27
3.4 Ontmoetende en oplopende schepen.....	27
3.5 Vergelijking met windkrachten.....	28
3.6 Conclusies.....	29
4 ONDERZOEK NAAR AMSTERDAM-RIJNKANAAL SITUATIE .....	30
4.1 Programma van simulaties.....	30
4.1.1 Schip gebruikt voor de simulaties.....	30
4.1.2 Berekende oeverzuigingskrachten.....	30
4.1.3 Stuurautomaten.....	31
4.1.4 Samenvatting uitgevoerde simulaties.....	32
4.2 Discussie van simulaties.....	33
4.2.1 Sturen met de baanvolgende stuurautomaat.....	33
4.2.2 Sturen met de bochtautomaat.....	34
4.2.3 Opzoekgrafieken.....	35
4.3 Oplopende en ontmoetende schepen.....	37
5 CONCLUSIES.....	38
Tabel.....	T1
Figuren.....	F1 – F169
APPENDIX I: COMPUTATION OF THE BEHAVIOUR OF SHIPS AND FREE-SURFACE FLOWS IN RESTRICTED BASINS DUE TO A PASSING SHIP.....	A1.1
APPENDIX II: MANOEUVRING CONTROL .....	A2.1

## OVERZICHT VAN TABEL EN FIGUREN

### Tabel:

T1 Hoofdafmetingen van Klasse Va schip

### Figuren:

F1 Posities in kanaal

#### **Alleenvarend, 31.4 meter uit de oever, diep water**

F2 Handgestuurd; traject-plot  
F3 Handgestuurd; afstand en roerhoek  
F4 Handgestuurd; snelheden  
F5 Automaat gestuurd; traject-plot  
F6 Automaat gestuurd; afstand en roerhoek  
F7 Automaat gestuurd; snelheden  
F8 Handmatig overnemen na 700 m; traject-plot  
F9 Handmatig overnemen na 700 m; afstand en roerhoek  
F10 Handmatig overnemen na 700 m; snelheden  
F11 Handmatig overnemen na 900 m; traject-plot  
F12 Handmatig overnemen na 900 m; afstand en roerhoek  
F13 Handmatig overnemen na 900 m; snelheden

#### **Alleenvarend, 18.6 meter uit de oever, diep water**

F14 Handgestuurd; traject-plot  
F15 Handgestuurd; afstand en roerhoek  
F16 Handgestuurd; snelheden  
F17 Automaat gestuurd; traject-plot  
F18 Automaat gestuurd; afstand en roerhoek  
F19 Automaat gestuurd; snelheden  
F20 Handmatig overnemen na 700 m; traject-plot  
F21 Handmatig overnemen na 700 m; afstand en roerhoek  
F22 Handmatig overnemen na 700 m; snelheden  
F23 Handmatig overnemen na 900 m; traject-plot  
F24 Handmatig overnemen na 900 m; afstand en roerhoek  
F25 Handmatig overnemen na 900 m; snelheden  
F26 Handmatig overnemen na 1100 m; traject-plot  
F27 Handmatig overnemen na 1100 m; afstand en roerhoek  
F28 Handmatig overnemen na 1100 m; snelheden

#### **Alleenvarend, 5.7 meter uit de oever, diep water**

F29 Handgestuurd; traject-plot  
F30 Handgestuurd; afstand en roerhoek  
F31 Handgestuurd; snelheden  
F32 Automaat gestuurd; traject-plot  
F33 Automaat gestuurd; afstand en roerhoek  
F34 Automaat gestuurd; snelheden  
F35 Handmatig overnemen na 500 m; traject-plot



- F36 Handmatig overnemen na 500 m; afstand en roerhoek
- F37 Handmatig overnemen na 500 m; snelheden
- F38 Handmatig overnemen na 600 m; traject-plot
- F39 Handmatig overnemen na 600 m; afstand en roerhoek
- F40 Handmatig overnemen na 600 m; snelheden

**Oplopende en voorbijstekende schepen, diep water**

- F41 Oplopende schepen; oplopende schip; 38.6 meter uit de oever; snelheden
- F42 Oplopende schepen; oplopende schip; 38.6 meter uit de oever; roer
- F43 Oplopende schepen; oplopende schip; 38.6 meter uit de oever; krachten
- F44 Oplopende schepen; opgelopen schip; 6.68 meter uit de oever; snelheden
- F45 Oplopende schepen; opgelopen schip; 6.68 meter uit de oever; roer
- F46 Oplopende schepen; opgelopen schip; 6.68 meter uit de oever; krachten

**Ontmoetende schepen, diep water**

- F47 Ontmoetende schepen opgelopen schip; 38.6 meter uit de oever; snelheden
- F48 Ontmoetende schepen; opgelopen schip; 38.6 meter uit de oever; roer
- F49 Ontmoetende schepen; opgelopen schip; 38.6 meter uit de oever; krachten
- F50 Ontmoetende schepen opgelopen schip; 15.8 meter uit de oever; snelheden
- F51 Ontmoetende schepen; opgelopen schip; 15.8 meter uit de oever; roer
- F52 Ontmoetende schepen; opgelopen schip; 15.8 meter uit de oever; krachten

**Alleenvarend, 31.4 meter uit de oever, ondiep water**

- F53 Handgestuurd; traject-plot
- F54 Handgestuurd; afstand en roerhoek
- F55 Handgestuurd; snelheden
- F56 Automaat gestuurd; traject-plot
- F57 Automaat gestuurd; afstand en roerhoek
- F58 Automaat gestuurd; snelheden
- F59 Handmatig overnemen na 700 m; traject-plot
- F60 Handmatig overnemen na 700 m; afstand en roerhoek
- F61 Handmatig overnemen na 700 m; snelheden
- F62 Handmatig overnemen na 1100 m; traject-plot
- F63 Handmatig overnemen na 1100 m; afstand en roerhoek
- F64 Handmatig overnemen na 1100 m; snelheden

**Alleenvarend, 18.6 meter uit de oever, ondiep water**

- F65 Handgestuurd; traject-plot
- F66 Handgestuurd; afstand en roerhoek
- F67 Handgestuurd; snelheden
- F68 Automaat gestuurd; traject-plot
- F69 Automaat gestuurd; afstand en roerhoek
- F70 Automaat gestuurd; snelheden
- F71 Handmatig overnemen na 700 m; traject-plot
- F72 Handmatig overnemen na 700 m; afstand en roerhoek
- F73 Handmatig overnemen na 700 m; snelheden
- F74 Handmatig overnemen na 900 m; traject-plot
- F75 Handmatig overnemen na 900 m; afstand en roerhoek

---

F76	Handmatig overnemen na 900 m; snelheden
F77	Handmatig overnemen na 1000 m; traject-plot
F78	Handmatig overnemen na 1000 m; afstand en roerhoek
F79	Handmatig overnemen na 1000 m; snelheden

**Alleenvarend, 5.7 meter uit de oever, ondiep water**

F80	Handgestuurd; traject-plot
F81	Handgestuurd; afstand en roerhoek
F82	Handgestuurd; snelheden
F83	Automaat gestuurd; traject-plot
F84	Automaat gestuurd; afstand en roerhoek
F85	Automaat gestuurd; snelheden
F86	Handmatig overnemen na 500 m; traject-plot
F87	Handmatig overnemen na 500 m; afstand en roerhoek
F88	Handmatig overnemen na 500 m; snelheden
F89	Handmatig overnemen na 600 m; traject-plot
F90	Handmatig overnemen na 600 m; afstand en roerhoek
F91	Handmatig overnemen na 600 m; snelheden

**Alleenvarend, 31.4 meter uit de oever, ondiep water (12 km/u)**

F92	Handgestuurd; traject-plot
F93	Handgestuurd; afstand en roerhoek
F94	Handgestuurd; snelheden
F95	Automaat gestuurd; traject-plot
F96	Automaat gestuurd; afstand en roerhoek
F97	Automaat gestuurd; snelheden
F98	Handmatig overnemen na 700 m; traject-plot
F99	Handmatig overnemen na 700 m; afstand en roerhoek
F100	Handmatig overnemen na 700 m; snelheden
F101	Handmatig overnemen na 1100 m; traject-plot
F102	Handmatig overnemen na 1100 m; afstand en roerhoek
F103	Handmatig overnemen na 1100 m; snelheden

**Alleenvarend, 18.6 meter uit de oever, ondiep water (12 km/u)**

F104	Handgestuurd; traject-plot
F105	Handgestuurd; afstand en roerhoek
F106	Handgestuurd; snelheden
F107	Automaat gestuurd; traject-plot
F108	Automaat gestuurd; afstand en roerhoek
F109	Automaat gestuurd; snelheden
F110	Handmatig overnemen na 700 m; traject-plot
F111	Handmatig overnemen na 700 m; afstand en roerhoek
F112	Handmatig overnemen na 700 m; snelheden
F113	Handmatig overnemen na 900 m; traject-plot
F114	Handmatig overnemen na 900 m; afstand en roerhoek
F115	Handmatig overnemen na 900 m; snelheden
F116	Handmatig overnemen na 1000 m; traject-plot

- F117 Handmatig overnemen na 1000 m; afstand en roerhoek  
F118 Handmatig overnemen na 1000 m; snelheden

**Alleenvarend, 5.7 meter uit de oever, ondiep water (12 km/u)**

- F119 Handgestuurd; traject-plot  
F120 Handgestuurd; afstand en roerhoek  
F121 Handgestuurd; snelheden  
F122 Automaat gestuurd; traject-plot  
F123 Automaat gestuurd; afstand en roerhoek  
F124 Automaat gestuurd; snelheden  
F125 Handmatig overnemen na 500 m; traject-plot  
F126 Handmatig overnemen na 500 m; afstand en roerhoek  
F127 Handmatig overnemen na 500 m; snelheden  
F128 Handmatig overnemen na 600 m; traject-plot  
F129 Handmatig overnemen na 600 m; afstand en roerhoek  
F130 Handmatig overnemen na 600 m; snelheden

**Alleenvarend, 31.4 meter uit de oever, ondiep water (9 km/u)**

- F131 Handgestuurd; traject-plot  
F132 Handgestuurd; afstand en roerhoek  
F133 Handgestuurd; snelheden  
F134 Automaat gestuurd; traject-plot  
F135 Automaat gestuurd; afstand en roerhoek  
F136 Automaat gestuurd; snelheden  
F137 Handmatig overnemen na 700 m; traject-plot  
F138 Handmatig overnemen na 700 m; afstand en roerhoek  
F139 Handmatig overnemen na 700 m; snelheden  
F140 Handmatig overnemen na 1100 m; traject-plot  
F141 Handmatig overnemen na 1100 m; afstand en roerhoek  
F142 Handmatig overnemen na 1100 m; snelheden

**Alleenvarend, 18.6 meter uit de oever, ondiep water (9 km/u)**

- F143 Handgestuurd; traject-plot  
F144 Handgestuurd; afstand en roerhoek  
F145 Handgestuurd; snelheden  
F146 Automaat gestuurd; traject-plot  
F147 Automaat gestuurd; afstand en roerhoek  
F148 Automaat gestuurd; snelheden  
F149 Handmatig overnemen na 700 m; traject-plot  
F150 Handmatig overnemen na 700 m; afstand en roerhoek  
F151 Handmatig overnemen na 700 m; snelheden  
F152 Handmatig overnemen na 900 m; traject-plot  
F153 Handmatig overnemen na 900 m; afstand en roerhoek  
F154 Handmatig overnemen na 900 m; snelheden  
F155 Handmatig overnemen na 1000 m; traject-plot  
F156 Handmatig overnemen na 1000 m; afstand en roerhoek  
F157 Handmatig overnemen na 1000 m; snelheden

---

**Alleenvarend, 5.7 meter uit de oever, ondiep water (9 km/u)**

F158	Handgestuurd; traject-plot
F159	Handgestuurd; afstand en roerhoek
F160	Handgestuurd; snelheden
F161	Automaat gestuurd; traject-plot
F162	Automaat gestuurd; afstand en roerhoek
F163	Automaat gestuurd; snelheden
F164	Handmatig overnemen na 500 m; traject-plot
F165	Handmatig overnemen na 500 m; afstand en roerhoek
F166	Handmatig overnemen na 500 m; snelheden
F167	Handmatig overnemen na 600 m; traject-plot
F168	Handmatig overnemen na 600 m; afstand en roerhoek
F169	Handmatig overnemen na 600 m; snelheden

## 1 INLEIDING

De Raad voor Transportveiligheid krijgt regelmatig te maken met ongevallen waarbij zuiging tussen schepen of zuiging tussen schip en kanaalprofiel een rol zou hebben kunnen spelen. Er is behoefte aan een toegankelijke manier om in te kunnen schatten of zuiging wel of niet een rol heeft gespeeld bij een ongeluk.

MARIN / MSCN stelt voor om onderzoekgrafieken te maken die eenvoudig toegankelijk zijn en die het gevaar van zuiging aangeven. Met deze grafieken moet het mogelijk zijn om gegeven een scheepsgrootte, kanaalgrootte, scheepssnelheden en de situatie (één schip in een kanaal, ontmoetende schepen en oplopende schepen) in te kunnen schatten of zuiging geen / wellicht / zeker een rol heeft gespeeld in dit scenario. In het voorliggende onderzoek wordt de haalbaarheid van dergelijke grafieken onderzocht voor een scenario met één schip in een kanaal. De grafieken worden voor deze situatie gegeven. Daarnaast wordt afgetast welke krachten belangrijk zijn in het geval van tegemoetkomende schepen en oplopende schepen.

Tegelijkertijd wordt de achtergrondkennis op het gebied van zuiging in kaart worden gebracht.

Om tot deze eenvoudige representatie van resultaten te komen zijn vijf stappen voorzien:

- Een literatuurstudie op het gebied van zuiging om de gevaarlijkste situaties in kaart te brengen.
- Berekenen van zuigingskrachten voor verschillende situaties voor een scenario met één schip in een kanaal.
- Berekenen manoeuvreergedrag en roeruitslagen in deze situaties.
- Conclusies ten aanzien van manoeuvreergedrag.
- Samenvatting van de resultaten in een onderzoekgrafiek.

## 2 LITERATUURONDERZOEK

In dit hoofdstuk wordt op basis van een aantal artikelen beschreven welke fysieke verschijnselen met betrekking tot zuigingskrachten optreden bij schepen door de aanwezigheid van een oever, een ander schip of allebei. De literatuur die hiervoor gebruikt is, is gegeven in de literatuurlijst (sectie 2.3).

Het doel van het onderzoek is de achtergrondkennis op het gebied van oeverzuiging te inventariseren. Zo kunnen potentiaal gevaarlijke situaties uitgelicht worden. In dit hoofdstuk worden de trends uit de literatuur onderzocht. In het volgende hoofdstuk worden de gesignaleerde trends toegepast op de binnenvaart.

Tijdens het bestuderen van de literatuur moet opgemerkt worden dat de meeste fundamentele onderzoeken naar oeverzuiging zijn uitgevoerd vóór de jaren 60 van de vorige eeuw ([1], [2], [6] en [9]). Deze onderzoeken zijn gebeurd naar aanleiding van het formuleren van toelatingsbeleid voor het Panama-kanaal en het Suez-kanaal. Een tweede set van systematische onderzoekingen naar oeverzuiging zijn uitgevoerd aan het eind van de jaren zeventig. Deze onderzoeken waren toegespitst op onderzoek aan krachten die werkten op de grote VLCC's (Very Large Crude Carriers) rondom ondieptes, banken en dergelijke. Vooral omdat VLCC's zeer trage schepen waren en lange reactietijden hadden, waren effecten van oeverzuiging belangrijke oorzaken van krachten op deze schepen. Deze twee types onderzoeken zijn gepubliceerd.

Er wordt benadrukt dat dit onderzoeken zijn die uitgevoerd zijn voor zeevaart. Kennelijk zijn de belangen in de zeevaart zo groot geweest dat dergelijke systematische onderzoeken zijn uitgevoerd. Voor de binnenvaart zijn deze systematische onderzoeken niet uitgevoerd. De resultaten van de onderzoekingen voor de scheepvaart kunnen echter door schaling wel worden toegepast op situaties in de binnenvaart.

Er is een uitgebreide hoeveelheid literatuur aanwezig. Voor het doel van deze studie is echter niet alle literatuur van toepassing. Literatuur over "volle" schepen en literatuur over systematische variaties van schepen en oevers zijn het belangrijkste. Deze aspecten zijn voornamelijk uit de literatuur gelicht. Deze verschaffen het fundamentele inzicht dat nodig is in dit stadium. Er zijn meer onderzoeken gebeurd, meestal naar individuele eigenschappen van specifieke schepen en naar specifieke situaties. Zeker sinds ongeveer 1980 is er door de druk van de commercie weinig systematisch onderzoek meer gedaan dat gepubliceerd wordt.

Sinds ongeveer 1998 is er een ontwikkeling van een theorie waarmee gerekend kan worden aan zuiging en aan de interactie tussen schepen onderling. Dit is een versie van de zogenaamde diffractie-theorie. Deze theorie is dan ook gebruikt in hoofdstuk 4 om de krachten werkend op de schepen te berekenen.

### 2.1 Effecten van beperkt water

#### 2.1.1 De invloed van ondiep water

Ondiep water wordt gedefinieerd als de waterdiepte-diepgang verhouding  $W_D/T$  tussen 1 en 2 ligt. ( $2.0 > W_D/T > 1.0$ , waarbij  $W_D$  de diepte van de vaarweg ter plaatse van het schip,  $T$  is de diepgang van het schip). Dit betekent dat er minder dan de diepgang van

het schip aan waterdiepte onder de kiel zit. In ondiep water zijn er vijf effecten te zien die het manoeuvreergedrag op ondiep water in meerdere of mindere mate kunnen beïnvloeden:

1. Grotere hydrodynamische krachten op de romp van het schip;
2. Minder goede toestroming naar roer en schroef, o.a. geïllustreerd door het trillen van de schroef op ondieper water;
3. Vergroting van de weerstand;
4. Extra inzinking (squat);
5. Effecten door andere golfvorming in diep en ondiep water.

Het begrip manoeuvreerbaarheid van een schip is het delicate evenwicht tussen een goede koersstabiliteit (vermogen tot rechtuit varen zonder daar grotere roerhoeken bij te gebruiken) en een goed draaivermogen (juist het vermogen om een draai snel in te zetten en daarmee snel uit te kunnen wijken). Beide aspecten zijn nodig voor een goed stuurgedrag maar zijn wel in tegenspraak met elkaar. Vandaar dat een goede manoeuvreerbaarheid een evenwicht is tussen diverse eigenschappen van het schip en door externe omstandigheden snel verstoord kan raken.

Bij het afnemen van de waterdiepte of het aanwezig zijn van een kadewand of oever kan dus niet zomaar gesproken worden van een "afnemende manoeuvreerbaarheid" als het schip anders reageert ([7]). Wel kan worden gesproken van meer of minder roerwerking, meer richtingsstabiliteit of minder draaivermogen.

#### **Ad 1, effecten van ondiep water op de rompkrachten.**

Op ondiep water zullen de rompkrachten en -momenten toenemen. Dit betekent dat schepen kleinere drifthoeken nodig hebben om externe dwarskrachten (zoals wind en zuiging) te compenseren. Ook de demping tegen gieren neemt toe waardoor draaicirkels op ondiep water groter worden.

#### **Ad 2, effecten van ondiep water op de toestroming naar roer en schroef.**

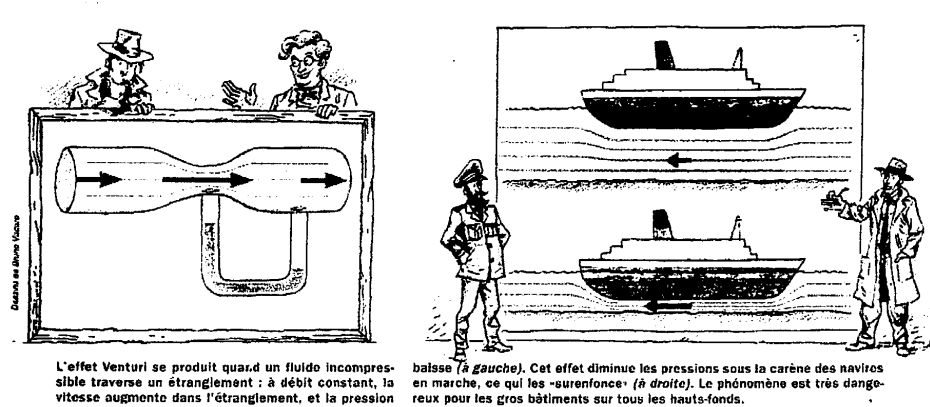
Een schip varende op ondiep water heeft minder roerefficiëntie ([3]) doordat het stromingsveld ter plaatse van het roer minder gunstig is. Op diep water komt de stroming naar de schroef en het roer van onder het schip vandaan. Op ondiep water kan het water niet van onder het schip komen omdat de bodem van de vaarweg dit blokkeert; het water moet van de zijkant komen. Er komt hierdoor veel minder water naar schroef en roer toe. Door deze slechtere aanstroming is er minder roerefficiëntie. Door de slechte aanstroming kan ook loslating optreden. Deze loslating wordt ook wel dood-water genoemd of een retourstroom. Dit veroorzaakt trillingen in de schroef, omdat de schroef in een dood-water gebied zeer zwaar en onregelmatig wordt belast. Het roer kan in een gebied opereren waarin geen watersnelheid is. Hierdoor produceert het roer geen lift en kan het schip niet worden bestuurd. Uit het roer lopen kan hiervan de consequentie zijn. De roerefficiëntie op zeer ondiep water wordt steeds meer bepaald door het schroeftoerental in plaats van door de snelheid van het schip. Het effect van afnemende roerkrachten treedt op bij zeer ondiep water (minder dan 10% water onder de kiel).

Het waterdiepte-effect op de roerefficiëntie is niet zo éénvoudig als het roer goed wordt aangestroomd door het schroefwater (zoals gebruikelijk bij binnenvaartschepen). In ondiep water kan het schroefwater, zoals hiervoor beschreven, alleen van de zijkant komen, en bij een enkelschroef ([3]) zorgt dit voor een behoorlijke asymmetrische aanstroming van het roer met daardoor veroorzaakte asymmetrische dwarskrachten.

Deze zijn afhankelijk van de draairichting van de schroef. De roerkrachten zullen daarom variëren bij het varen op een ongelijke bodem.

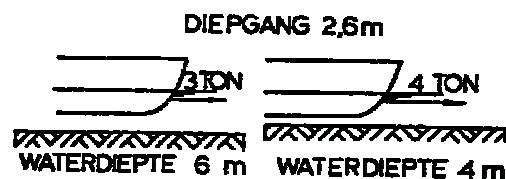
**Ad 3. en ad 4, effecten van ondiep water op de weerstand.**

Als de snelheid toeneemt, wordt het schip dichter naar de bodem gezogen en krijgt het schip een hogere weerstand. De hogere weerstand wordt veroorzaakt door een grotere waterverplaatsing (dus groter nat oppervlak) en een toename van de stroomsnelheid tussen de bodem en de romp van het schip waardoor er meer wrijving is. Door plaatselijke verschillen in dit stromingsveld t.g.v. de rompvorm kan het schip ook nog eens een trimhoek aannemen. Deze verschijnselen van inzinken en vertrimmen wordt tezamen "squat" genoemd. Door de weerstandstoename op ondiep water is een hoger toerental nodig om dezelfde snelheid te behalen.



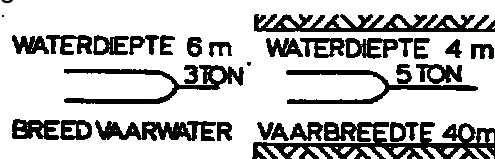
Figuur 2-1 Het squat effect: door de venturi werking wordt het schip naar de bodem gezogen. Dit veroorzaakt een weerstandstoename.

In Figuur 2-2 wordt schematisch aangegeven hoe groot de vereiste toename in trekkraft is om hetzelfde schip dezelfde snelheid te laten houden in diep en in ondiep water.



Figuur 2-2 Weerstandstoename door ondiep water

Het effect wordt verzaard wanneer ook de vaarwegbreedte wordt beperkt, hetgeen wordt geïllustreerd in Figuur 2-3:

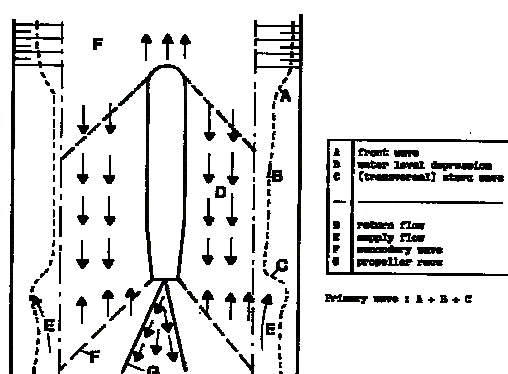


Figuur 2-3 Weerstandstoename door beperking van de vaarwegbreedte én ondiep water



### Ad 5, Effecten door golfvorming

Als de snelheid toeneemt, zal het schip golven gaan maken. Door de aanwezigheid van het varende schip ontstaat er een drukverdeling langs de romp van een schip. Deze zorgt voor een aantal oppervlakte golven. De golven worden onderscheiden in twee systemen. Het primaire golfsysteem bestaat uit ruwweg een golftop op voorkant en achterkant van het schip en een golfdal ter hoogte van midscheeps. De golftop aan de voorkant zal daarbij over het algemeen groter zijn dan de golftop aan de achterkant. Het secundaire golfsysteem bestaat uit de golven die zich vanaf boeg en hek van het schip zijdelings voortplanten. Dit secundaire systeem zorgt voor een top in het voorschip en een dal waar het schip breed wordt (ter plekke van de schouders van het schip).



Primair golfsysteem



Secundair golfsysteem

Figuur 2-4 Voorbeeld van primair en secundair golfsysteem

Golven zorgen op hun beurt weer dat er meer boeg van het schip in het water zit en minder midscheeps contact met het water is. Dit zorgt voor andere drukverdelingen en dus weer voor andere zuigingskrachten. Over het algemeen is het primaire golfsysteem verantwoordelijk voor de krachten die we hier zuigingskrachten noemen.

#### 2.1.2 Invloed van de nabijheid van de oever

De invloed van de nabijheid van de oever berust op hetzelfde principe als de effecten van ondiep water. Tussen de wal en het schip ontstaat een verhoogde stroomsnelheid door de retourstroom. Deze retourstroom ontstaat in een kanaal omdat het door het schip voortgestuwde water versneld langs het schip naar achteren stroomt en veroorzaakt daarbij een onderdruk (het z.g. Bernoulli-effect) onder en naast het schip. Hierbij is de dwarsdoorsnede van het kanaal t.o.v. de dwarsdoorsnede van het schip van groot belang. Een groot schip zal in een krap kanaal een veel grotere retourstroom veroorzaken dan een klein schip. Hoe groter deze retourstroom hoe maatgevender de zuigingseffecten worden. De afstand van een schip tot de oever is van invloed op het stuurgedrag omdat de retourstroom asymmetrisch wordt bij het uit het midden varen in een kanaal. Verschijnselen bij de nabijheid van een oever zijn:

1. Er ontstaat een zuigingskracht naar de oever toe. De zuigingskracht grijpt lichtjes achter midscheeps aan. Hierdoor is het hoofdeffect van oeverzuiging dat het schip vrijwel parallel naar de oever wordt getrokken. De achterkant van het schip wordt echter iets sterker aangetrokken dan de voorkant.

2. Oeverzuiging is omgekeerd evenredig met de afstand tot de oever (hoe kleiner de afstand, hoe sterker de zuiging);
3. De invloed van het aantal schroeven (dubbelschroever of enkelschroever) op de oeverzuiging is minimaal;
4. Oeverzuiging is in belangrijke mate evenredig met de vaarsnelheid in het kwadraat.

Zoals in de vorige paragraaf aangegeven zijn de ondiep water effecten als volgt te omschrijven: door de grotere rompkrachten reageert het schip langzamer in ondiep water, de drifthoeken worden kleiner en de manoeuvreerbaarheid in zijn algemeen gaat achteruit. Als de aanwezigheid van een steile rivieroever wordt meegenomen, zullen deze rompkrachten nog meer toenemen ([2]). Niet alleen het algemene stuurgedrag verandert, maar er zal ook een sterke interactie met de oever optreden.

Onderzoeken naar zeeschepen in kanalen geven het volgende beeld: als het schip niet op de hartlijn van het kanaal vaart zal over het algemeen het zwaartepunt een aantrekkingskracht naar de oever ondervinden (oeverzuiging), terwijl de boeg licht afgestoten zal worden, of minder worden aangezogen. Het effect van het moment wat hieruit resulteert ("bow out" moment) is niet geheel proportioneel aan de afstand tussen zwaartepunt van het schip en de hartlijn van het kanaal. Dit effect is uitgewerkt in Figuur 2-5. In deze figuur is ook het effect van oeverzuiging verwerkt, een verandering in de dimensieloze dwarskrachtcoëfficiënt ( $C_Y$ , zie voor definities paragraaf 2.4) door de aanwezigheid van de oever omdat er een lage druk gebied ontstaat tussen het achterschip en de oever. Dit betekent dat het schip met de boeg van de oever afgedrukt zal worden. Een roerganger of stuurautomaat zal, om deze draaiing van de oever af te compenseren, vervolgens juist naar de oever toe sturen om op koers te blijven.

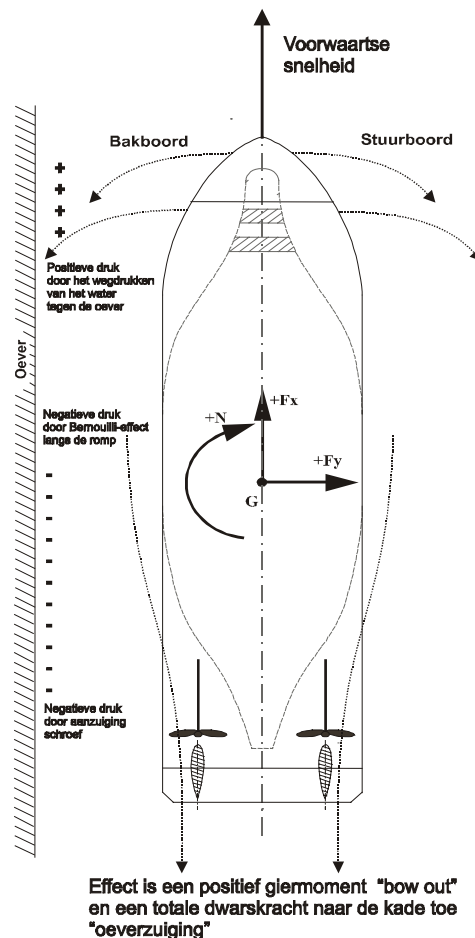
De dwarskracht door de aanwezigheid van een oever (oeverzuigingskracht) en de dwarskracht door roergeven blijken lineair opgeteld te mogen worden, onafhankelijk van de afstand van de oever. Dit geldt ook voor het giermoment. Het netto resultaat is dat de relatief grote oeverzuigingskracht en de relatief kleine roerkracht ter compensatie van het "bow out" moment resulteren in een netto kracht naar de oever toe gevolgd door een, meestal parallelle, beweging naar de oever toe.

De aantrekkingskracht op een schip in beweging parallel aan een oever neemt toe als de afstand tussen schip en oever afneemt. De langskracht blijft redelijk constant, maar oeverzuiging (dwarskracht,  $C_Y$ ) en boegafstoting (giermoment,  $C_N$ ) nemen toe.

Als de zuigingskrachten worden gemeten met en zonder de aanwezigheid van schroeven, is op te maken dat de verschillen hiertussen bijzonder klein zijn. De conclusie is dan ook dat er geen verschil is tussen enkelschroefs- en dubbelschroefsschepen ([9]), omdat de invloed van het aantal schroeven op oeverzuiging minimaal is.

Zuigingseffecten zijn groter als de oever door het waterlijnoppevlak gaat dan als deze onder water zit (een bank). Het effect van de aanwezigheid van ondiepten is dus minder groot dan het effect van de aanwezigheid van de oever zelf ([3]).

Verklaring voor "bow out" moment en oeverzuiging op ondiep water dichtbij de oever



Verklaring van de symbolen:

- G: zwaartepunt van het schip
- Fx: positieve richting langskracht op het schip
- Fy: positieve richting dwarskracht op het schip
- N: positieve richting moment op het schip



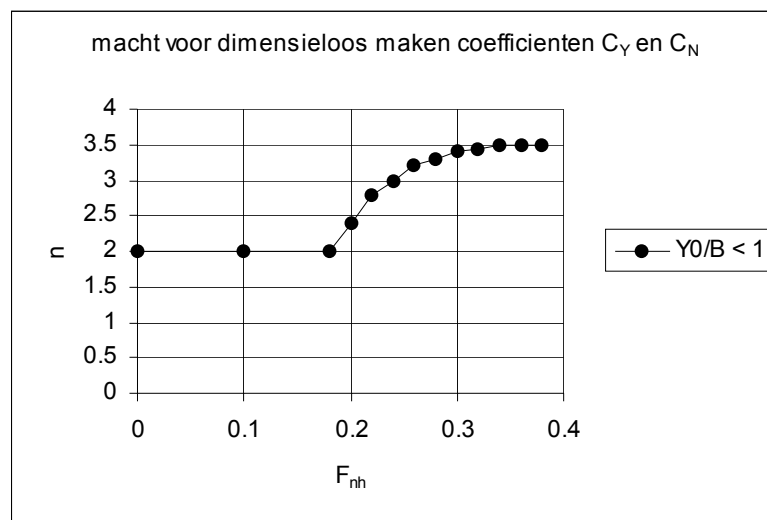
Figuur 2-5 Uitleg voor het ontstaan van een "bow out" giermoment (boeg-van-de-oever-weg) en oeverzuiging

Een oever is gedefinieerd als kort als de lengte minder is dan 15 scheepslengtes. De krachten die ervaren worden zijn groter als de oever kort is dan als deze lang is, omdat de opstart- en afbouwkrachten aan het begin en einde van de oever waarschijnlijk groter zijn dan de constante zuiging langs een oneindig lange oever.

Zuigingskrachten en -momenten zijn bij lagere snelheden ongeveer evenredig met de scheepssnelheid in het kwadraat. Als de verhouding  $F_{nh} = \frac{U}{\sqrt{gh}}$ , welke een maat is voor

de maximale loopsnelheid van de golven op ondiep water, toeneemt, verhouden de kracht- en momentcoëfficiënten zich niet meer evenredig met  $U^2$ , maar met een hogere macht, zelfs olopend tot  $U^{3.5}$ . De waarden lopen vanaf  $F_{nh} = 0.2$  op van  $U^2$  tot  $U^{3.5}$  bij  $F_{nh} = 0.4$  (zie Figuur 2-6). Deze variatie in de macht boven de voorwaartse snelheid kan

uiteindelijk zeer bepalend zijn voor de controleerbaarheid: als de krachten en momenten die gegenereerd worden door de romp en het roer op het manoeuvrerende schip variëren met  $U^2$ , dan zullen bij een hoge snelheid in de buurt van het talud toenemende roer- en driftkrachten nodig zijn om de zuigingskrachten tegen te gaan. De oeverzuiging zou op dat moment wel eens veel groter kunnen zijn bij een toenemende snelheid relatief aan de roerkrachten die geleverd kunnen worden, die nog evenredig zijn met  $U^2$ . Dit zou een oorzaak kunnen zijn voor plotselinge bewegingen van het schip.

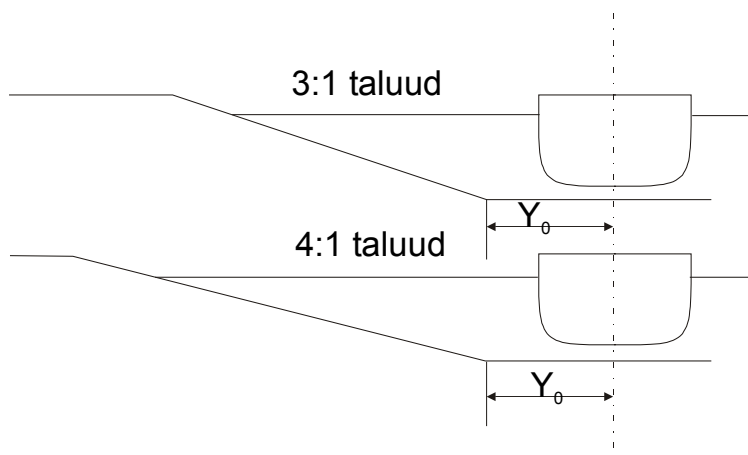


Figuur 2-6 Oeverzuiging is bij grotere snelheden niet meer evenredig met  $U^2$

Oevereffecten kunnen stationair worden beschouwd als een schip met een grondkoers parallel langs een oever vaart ([3]). De invloed van deze stationaire krachten en momenten kan in principe worden opgeheven met een constante roerhoek waarbij het schip ook een drifthoek aanneemt om de oeverzuigingskracht te compenseren. Als dit zo gesteld wordt lijkt het vreemd dat er aanvaringen kunnen gebeuren. Echter, het gevaar op aanvaringen ontstaat doordat er een kleine verstoring in de stationaire situatie optreedt waardoor krachten en momenten plotseling sterk kunnen veranderen van richting, grootte en hoek.

### 2.1.3 Invloed van taludhoek

De hoek van een oever (talud) kan invloed hebben op het manoeuvreergedrag door een onverwacht effect in de oeverzuiging. Bij een steilere oever zijn de krachten meer evenredig met  $U^2$  dan bij een minder steil talud. Het effect van het vrije vloeistofoppervlak wordt belangrijker als het talud vrij langzaam oploopt ([4]). Dit impliceert dat het schip voorspelbaarder te sturen is bij een steiler talud dan bij een minder steil talud. Dit is tegenstrijdig aan het gevoel: men zou bij een grotere afstand tot de water/landscheiding minder zuiging verwachten. Hierbij is de afstand tussen schip en talud gedefinieerd (Figuur 2-7) als de afstand van hartlijn van het schip tot de voet ( $y_0$ ) van het talud onder water.



Figuur 2-7 Talud en de definitie van de oeverafstand  $Y_0$

#### 2.1.4 Invloed van onder een hoek naar de oever varen

Als het schip onder een bepaalde hoek met de oever in de richting van de oever vaart, treden er een aantal verschijnselen op waardoor deze situatie duidelijk afwijkt van parallel varen aan de oever. De volgende effecten worden in deze paragraaf beschreven:

1. De verandering van zuiging naar afstoting;
2. De invloed van varen onder een drifhoek, met een grondkoers parallel aan een oever;
3. De aanwezigheid van een extra oever-schip interactie term in kracht en moment bij het naar de oever toe varen onder een drifhoek;

Als de afstand tussen de oever en het schip onder een drifhoek met de neus naar de oever toe, steeds kleiner wordt, zal er een tegengesteld effect ontstaan aan oeverzuiging, namelijk de opbouw van de druk tussen de oever en het schip ([4]). Een verklaring hiervoor zou kunnen liggen in de opbouw van de boeggolf, waardoor er een overdruk ontstaat tussen het schip en de oever. De overdruk duwt het schip weg van de oever in plaats van dat er zuiging optreedt.

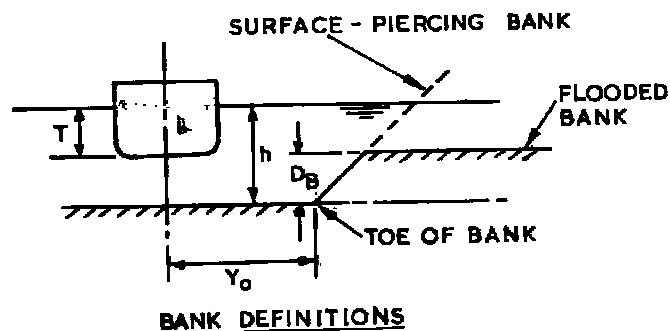
Indien een schip niet op de hartlijn van een symmetrisch kanaal vaart zal er altijd zuiging ontstaan. Er kan dan zonder roerhoek geen stationaire situatie worden bereikt, omdat er geen quasi-stationair evenwicht tussen romp en stuurkrachten bereikt kan worden ([7]). In het geval van een schip in een kanaal is de reactie van een schip op de responsie van het roer dan ook niet stationair draaien, maar stationair driften. Het schip gaat dus met een drifhoek varen ten gevolge van de toegepaste roerhoek. Deze stationaire drifhoek en afwijking van het pad van het schip relatief aan de hartlijn van het kanaal is in het lineaire geval (kleine drifhoeken en kleine roerhoeken) proportioneel met de roerhoek. Dit is belangrijk voor het gebruik van een stuurautomaat omdat deze alleen reageert op draaisnelheid en niet op driften.

Uit de metingen gerapporteerd in [4] blijkt dat de zuigingskrachten als gevolg van het parallel aan de oever varen en het varen onder kleine drifhoeken met de oever (zoals in de praktijk voorkomt) bij elkaar opgeteld mogen worden. Tot drifhoeken van

ongeveer 10 graden mogen de krachten als gevolg van driften en de krachten als gevolg van oeverzuiging worden opgeteld om een goede voorspelling te krijgen. Voor de rekenmodellen en de toepassing van koershouden in de binnenvaart is dit van toepassing. Deze regel gaat niet meer op naarmate de hoek van het schip ten opzichte van de bank groter wordt. Het eerdergenoemde effect dat zuiging overgaat in afstoting gaat dan optreden.

### 2.1.5 Effect van banken

Als een oever deels onder water zit (zie figuur 2-5), is er ook een invloed van de aanwezigheid van deze bank op dat schip ([4]). Er is een invloed van de aanwezigheid van een ondergedompelde oever op de krachten en momenten van een schip, maar deze aanwezigheid is vergelijkbaar met ondiep water invloed: oevers die deels onder water zitten, hebben een toenemende invloed op de dwarskracht en het giermoment bij toenemende snelheid-diepgang verhouding  $Fn_h$ . De langskracht bij een schip in de buurt van een oever die deels onder water zit is groter dan de langskracht zonder oever.



Figuur 2-8 Definitie van onder water banken

Er kan gesteld worden dat de effecten dus niet zo groot zijn als oevereffecten van een "echte" oever.

### 2.1.6 Stuurautomaten

Een schip dat in een (ondiep) kanaal langs een oever vaart reageert anders dan een schip in diep open water. De stuurautomaat zal dus ook anders moeten reageren bij een schip dat in een kanaal vaart dan in open water. Hierover zijn een aantal tegenstrijdigheden gevonden in de verschillende artikelen. Vooral de vraag of een stuurautomaat wel of niet een laterale correctie nodig heeft is moeilijk te beantwoorden. Echter, als wordt meegenomen dat een schip stationair zal gaan driften in plaats van draaien in de buurt van een oever ([7]), zal een stuurautomaat met laterale correctie nodig zijn. Uit de praktijk blijkt dat nauwelijks stuurautomaten met laterale correcties worden gebruikt.

Uit de verschillende artikelen in de literatuur is geen duidelijk advies te destilleren. Daarom is er in deze paragraaf voor gekozen een aantal discussiepunten van verschillende onderzoeken aan te stippen.

Bindel ([1]) beschrijft zijn vrijvarende proeven, uitgevoerd met een tanker in een nagebouwd Suez-kanaal op modelschaal. Hierbij is zowel handmatig sturen en sturen met een stuurautomaat toegepast. Tijdens het handmatig sturen was het makkelijker

om het schip in het midden van het kanaal te houden, maar moeilijker om een giersnelheid af te schatten dan tijdens het sturen met stuurautomaat. Bij hogere snelheden, zullen de risico's op problemen groter worden. Dit komt doordat de keten roerganger of stuurautomaat, roermachine, roeruitslag en tenslotte gedrag een relatief langere reactietijd hebben bij sneller varen.

Vreemd genoeg concludeert Fujino ([7]) dat een schip geen stuurautomaat met laterale correctie nodig heeft. De uiteindelijke waarde van de laterale verplaatsing van het schip zal nul worden. Deze conclusie is aantrekkelijk omdat de richtingsstabiliteit niet alleen de richting maar ook de hoek verandert van een schip dat in een kanaal vaart. Hierom adviseert Fujino een "directional control" stuurautomaat. Tijdens de testen kon een stuurautomaat zonder feedback op de laterale afwijking  $\delta = 10\psi + 135\dot{\psi}$  een initiële offset van het schip elimineren. Deze conclusie wordt ook getrokken door Norrbin ([8]). In een smal kanaal met eenrichtingsverkeer is het essentieel dat de stuurman het schip op de hartlijn van het kanaal houdt, maar als het schip van de hartlijn af raakt, moet de stuurman voorzichtig gebruik maken van zijn roer, en proberen voordeel te halen uit de oeverzuigingseffecten. Ook Norrbin ([8]) geeft aan dat de stuurautomaat met laterale correctie overbodig is om de volgende reden: een stuurautomaat met heading fout correctie en rate control zal het schip goed besturen, want als het schip dicht bij de oever is zal het schip met de boeg van de oever scheren (bow-out moment) en zal de stuurautomaat het roer zo aansturen dat het schip teruggaat naar een positie parallel aan de hartlijn van het kanaal, dus het schip zal langzaam van de oever afgedrukt worden. Deze conclusie moet gebaseerd zijn op het oever-afstoot effect dat optreedt onder een hoek met de oever die groot genoeg is. MARIN is het daar niet mee eens. Door de terugsturing van de automaat wordt het schip naar de kant gestuurd. MARIN is het dus niet eens met de stellingen van [7] en [8], wel met de stelling in [1]. De stuurautomaat met laterale sturing is wel nodig omdat de zuigkracht het schip bijna recht naar de wal zuigt. Wellicht dat precies één uitgekiende setting van de automaat het schip wél op koers houdt. Er zijn echter automaten in gebruik in de binnenvaart met zoveel verschillende settings mogelijkheden dat dit niet "fool proof" is.

## 2.2 Zuiging tussen schepen onderling

Als twee schepen elkaar passeren op ondiep water, treden ongeveer dezelfde effecten op als bij oeverzuiging. Het grote verschil zit in de kortere passeertijd tussen schepen in vergelijking met de passeertijd van een oever. De mate van zuiging tussen de twee schepen is afhankelijk van de relatieve snelheid van de schepen ten opzichte van elkaar, de water diepte/diepgangverhouding ( $Wd/T$ ) en de afstand tussen de verschillende schepen. Ook de afstand van beide schepen tot de oever speelt een belangrijke rol. Hydrodynamische interactie tussen twee schepen of een schip en de oever, geeft krachten en momenten in het horizontale vlak door asymmetrische aanstroming van het schip. Veranderingen in het gedrag van een schip door de aanwezigheid van een ander schip is niet alleen te vinden doordat er driftkrachten en giermomenten optreden, maar ook doordat er een verandering van trim en diepgang optreedt en (in beperkt water) in het waterniveau.

Er zijn drie situaties te beschrijven om de interactie van twee schepen te observeren ([4]). Dit zijn:

1. Het passeren van een schip terwijl het andere schip stilligt
2. Het ontmoeten van twee schepen op frontale koers
3. Het passeren van twee oplopende schepen

Bij alle drie de situaties veranderen zowel trim als diepgang van beide schepen tijdens het passeren van elkaar. De trim en diepgang zijn sterk afhankelijk van de factor  $U_O/U_P$ , waarbij  $U_O$  de snelheid van het "eigen" schip is en  $U_P$  de snelheid van het andere schip is. Als de verhouding waterdiepte/diepgang ( $Wd/T$ ) kleiner is dan 1.5, zijn de veranderingen in de interactie-krachten van beide schepen significant. Bij kleine kielspelingen en hoge onderlinge snelheden kunnen er zelfs rolhoeken geïnduceerd worden.

Als twee schepen met verschillende manoeuvreercharacteristieken elkaar passeren, in een gelimiteerde waterdiepte zal het schip met de kleinste waterdiepte / diepgang verhoudingen de grootste moeite hebben om uit een gevaarlijke toestand weg te manoeuvreren ([3]).

Er zijn rekenmethodes beschikbaar die de krachten die geïnduceerd worden door schepen onderling kunnen berekenen. Deze rekenmethodes zijn onder andere beschreven in [13]. Deze rekenmethodes zijn recent ontwikkeld en leunen op de recent toegenomen mogelijkheden van computers. Een dergelijke methode wordt ook in deze studie gebruikt (zie sectie 4.3.).

### 2.2.1 Tegemoetvarende schepen

Twee schepen die op frontale koers ten opzichte van elkaar liggen hebben een relatief hoge snelheid ten opzichte van elkaar en een relatief korte passeertijd. De traagheid van de schepen is hoog door de ondiep water effecten en de schepen zullen waarschijnlijk niet snel genoeg reageren om elkaar te raken. Daarnaast is de kans aanwezig dat de stuurman controle over het roer verliest nadat de schepen elkaar zijn gepasseerd, en een derde schip raakt of ergens strandt. Er zijn voldoende voorbeelden van dit soort ongelukken, waarbij [14] een voorbeeld is van een hydrodynamische studie naar dit onderwerp.

In de literatuur over tegemoetkomende schepen wordt veelal naar zeevaart gerefereerd. Echter, onderlinge afstanden die in de zeevaart als klein worden ervaren, zijn groot in de praktijk van de binnenvaart. In de binnenvaart wordt in de praktijk gebruik gemaakt van de golftop van het primaire golfsysteem rondom de boeg om net genoeg afstoting te krijgen om geen aanvaring te krijgen. Door gebruik te maken van dit hydrodynamische verschijnsel kan met zeer kleine onderlinge afstanden gevaren worden.

Onderzoeken naar tegemoetkomende schepen in de zeevaart zijn gerapporteerd door Eda ([6]) en Dand ([5]). Alhoewel de onderzoeken zijn gebeurd voor zeeschepen zijn de verschijnselen ook van toepassing voor binnenvaartschepen.

Eda ([6]) beschrijft simulaties die uitgevoerd zijn aan de hand van modelproefresultaten, geldig voor een schip in een zeer breed kanaal. Bij de analyse van het gieren zijn vier periodes te beschrijven tijdens het passeren waarbij pieken zichtbaar zijn in de

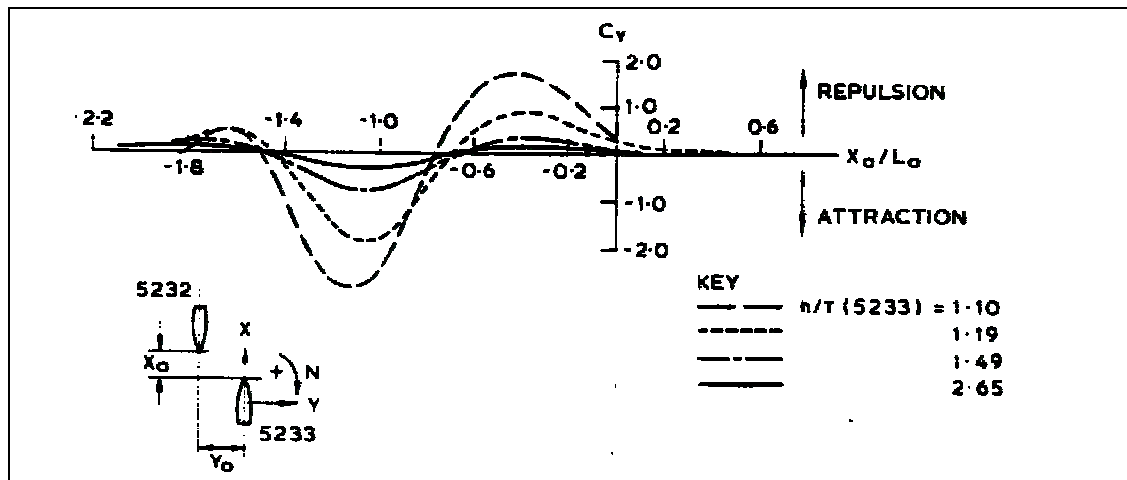


gierversnelling. De eerste piek is zichtbaar als de boegen elkaar gepasseerd zijn. Dan gieren de boegen weg van elkaar door de opstuwing van het water rond de boeg van beide schepen. Voordat de schepen elkaar midscheeps passeren, zullen de boegen naar elkaar toe willen draaien door de daling van de waterspiegel tussen beide schepen. De waarde van de gierversnellingspiek is nu het grootst. Nadat de schepen elkaar midscheeps gepasseerd zijn, zullen de achterschepen naar elkaar toe bewegen. Dit wordt veroorzaakt door de daling van de waterspiegel tussen de schepen en door de sterke zuigingskracht tussen de rompen, die een drifkracht en –moment introduceert, waardoor de schepen van elkaar wegdraaien. Als de achterschepen elkaar zijn gepasseerd gaat de boeg van de schepen naar de hartlijn van het kanaal door de hekgolf. In smallere kanalen zal het verschijnsel anders zijn doordat er een grotere zuiging tussen schip en oever optreedt.

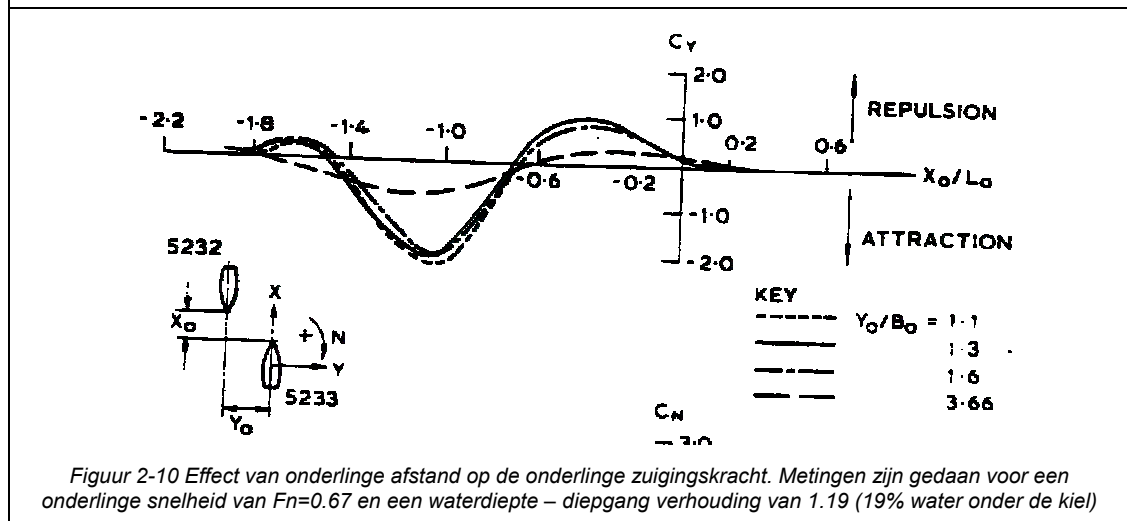
Dand ([5]) poogt deze krachten te kwantificeren als functie van onderlinge afstanden, snelheden en waterdieptes. In Figuur 2-9, Figuur 2-10 en Figuur 2-11 (uit Dand [5]), is het effect van de verschillende parameters op de zuigingskracht geïllustreerd. Deze figuren zijn gebaseerd op metingen. De zuigingscoëfficiënt  $C_Y$  is uitgezet op de verticale as. Deze zuigingscoëfficiënt wordt berekend door  $C_Y = \frac{Y}{\frac{1}{2}\rho U^2 B T}$  waarbij  $U$  de snelheid van het schip is en  $B$  en  $T$  respectievelijk de breedte en de diepgang.

In deze grafieken is te zien dat er afhankelijk van de positie van het schip beurtelings een afstotingskracht, een aantrekkingskracht en vervolgens weer een afstotingskracht optreedt. Voornamelijk de onderlinge afstand (figuur 2-7) en de verhouding waterdiepte – diepgang (figuur 2-6) zijn erg belangrijke parameters. Uit figuur 2-8 blijkt dat de krachten evenredig zijn met het kwadraat van de snelheid.

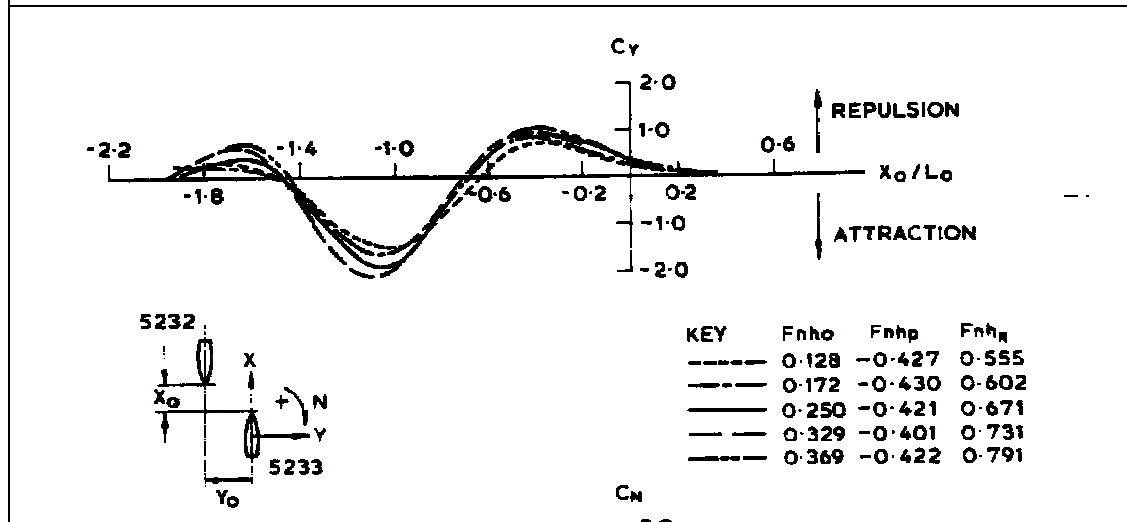
Deze metingen zijn uitgevoerd in een “kanaal” met een breedte van 12 scheepsbreedtes. In smallere kanalen kan een flinke stroomsnelheid ontstaan tussen wal en schip (voor beide schepen) waardoor de schepen meer naar de wal getrokken worden dan naar elkaar toe worden getrokken.



Figuur 2-9 Effect van de waterdiepte – diepgang verhouding op de onderlinge zuigingskracht. Metingen zijn gedaan voor  $Y_0/B_0=1.6$  en een onderlinge snelheid  $Fn=0.67$



Figuur 2-10 Effect van onderlinge afstand op de onderlinge zuigingskracht. Metingen zijn gedaan voor een onderlinge snelheid van  $Fn=0.67$  en een waterdiepte – diepgang verhouding van 1.19 (19% water onder de kiel)

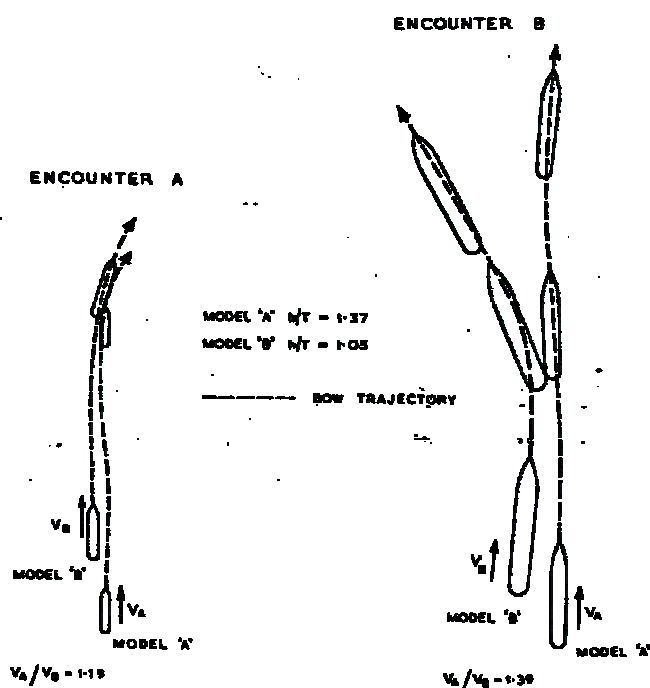


Figuur 2-11 Effect van snelheid op de onderlinge zuigingskracht. Metingen zijn gedaan voor  $Y_0/B_0=1.6$  en een waterdiepte – diepgang verhouding van 1.19 (19% water onder de kiel)

## 2.2.2 Oplopende schepen

Twee schepen die oplopen, zijn een veel langere periode naast elkaar dan schepen die op frontale koers ten opzichte van elkaar liggen. Krachten door interactie kunnen langzaam opbouwen maar snel versterken; hierdoor kunnen onverwachte koersveranderingen ontstaan. Omdat het proces van oplopende schepen langzamer verloopt, zijn instationaire krachten minder van toepassing. Kenmerkend is dat de verstoringende kracht langer aan zal houden.

Door de verandering van diepgang en trimhoek tijdens oplopen kan de stroming om een schip tijdens het oplopen van een ander schip, er zelfs voor zorgen dat het oplopende schip de olopmanoeuvre niet kan voltooien omdat de diepgang te groot wordt en het sterk vertraagd wordt of zelfs aan de grond loopt. Men vaart als het ware in elkaars spiegeldalingskuil.



Figuur 2-12 Voorbeelden van ongecontroleerde trajecten van elkaar oplopende schepen als gevolg van zuiging [5]

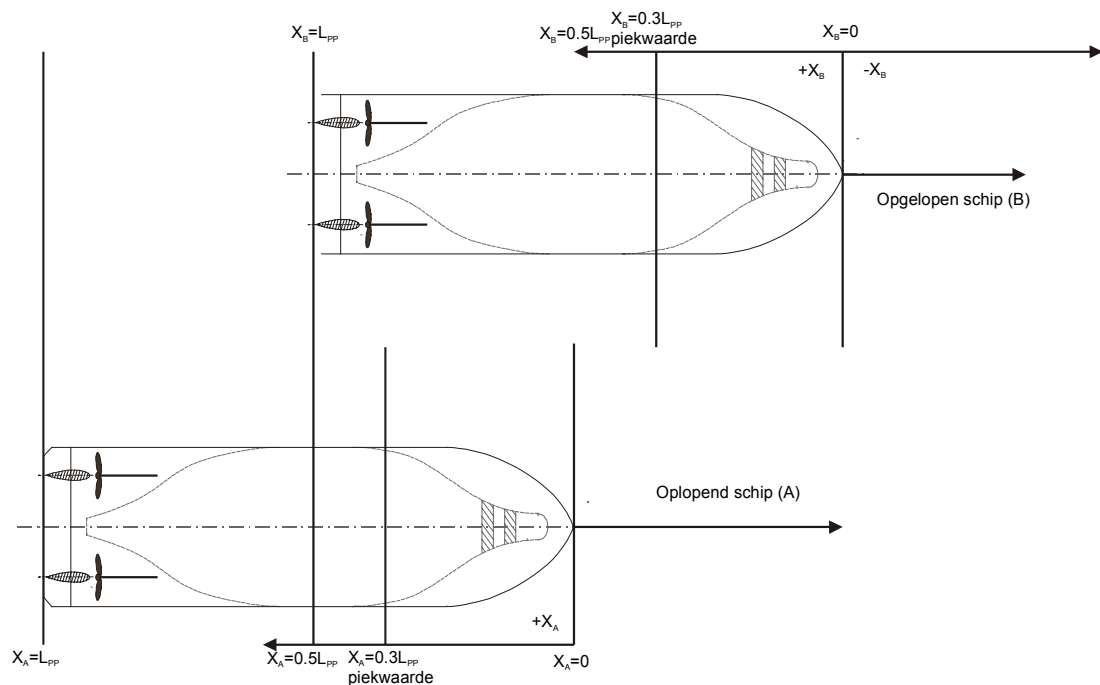
Bij oplopende koers zijn twee situaties te onderscheiden ([3]), afhankelijk van de onderlinge groottes van de betrokken schepen:

1. Schepen van verschillende afmetingen:

Het grootste schip beïnvloedt het gedrag van het kleinste schip meer dan dat dit andersom is. Dit heeft het gevaar op aanvaren tot gevolg, maar de waterdiepte – diepgang verhouding van het kleinere schip zal waarschijnlijk groter zijn dan van het grotere schip, waardoor ondiep water effecten minder aanwezig zijn. De invloed van boeg- en hekgolven van het grote schip op het kleine schip is niet te verwaarlozen. Het moment dat bijzonder gevaarlijk kan zijn is als de stroming rond de boeggolf van het grote schip een dwarsstroming introduceert op het kleinere schip. Hierdoor ontstaan dwarskrachten op het schip. In ondiep water kan dit effect van stroming door het grote schip versterkt worden omdat het water niet onder het schip weg kan stromen, maar alleen naast het schip. Kennis van dit verschijnsel en een hierop anticiperende stuurman of autopiloot kan hierbij helpen.

2. Schepen van gelijke afmetingen:

Als schip A schip B oploopt, is er een sterke interactie tussen de schepen in de range  $0 \leq x_0 \leq 0.8L_{PP}$ , waarbij  $X_0$  de 'overlappende' lengte is. Er zal een geprononceerd "bow out" moment komen op beide schepen met een piek op  $x_0 = 0.3L_{PP}$ . De longitudinale kracht op schip B zal zo zijn dat als schip A oploopt, dat schip B "tegegehouden" zal worden door de retourstroom, die A opwekt. De snelheid van B zal dus afnemen als er constant vermogen op beide schepen wordt gebruikt. Als schip A op schip B is opgelopen en schip A zich op positie  $-0.8L_{PP} \leq x_0 \leq -0.2L_{PP}$  ten opzichte van schip B bevindt (dit is vóór schip B), zal schip B een vermindering van weerstand ondergaan (zuiging). De vrij vloeistof oppervlak effecten zijn bij deze situatie nog sterker aanwezig, omdat beide schepen hierdoor beïnvloed zullen worden.



Figuur 2-13 Elkaar oplopende schepen

Bij schepen van gelijke afmetingen waarbij schip A oploopt, zal schip B zich langzaam naar het pad van schip A begeven, zodat aanvaring bijna niet te vermijden is. Het gevaar bij ondiep water interactie is dat de krachten en momenten langzamer afnemen dan dit in diep water het geval is, zodat schip B beïnvloed wordt door schip A terwijl de afstand onderling nog vrij groot is. De aanvaringssituatie zal langzaam opbouwen en het groeiende gevaar op aanvaring zal moeilijk waar te nemen zijn voordat het te laat is.

### 2.3 Literatuurlijst

- [1] Bindel, S., "Experiments on Ship Manoeuvrability in Canals as Carried out in the Paris Model Basin", First Symposium on Ship Manoeuvrability, David Taylor Model basin, Report 1461, October 1960.
- [2] Brard, Captain R., "Maneuvering of Ships in Deep Water, in Shallow Water and in Canals", Summer Meeting of the SNAME, 1951.
- [3] Dand, I.W., "Hydrodynamic Aspects of Shallow Water Collisions", Paper No. 6, RINA spring meeting 1976.
- [4] Dand, I.W., "On Ship-Bank Interaction", Paper no. 8, RINA spring meeting 1981
- [5] Dand, I.W., "Some Measurements of Interaction Between Ship Models Passing on Parallel Courses", NMI Report No. 108, August 1981.
- [6] Eda, H., "Dynamic Behaviour of Tankers during Two-Way Traffic in Channels", Marine Technology, July 1973.
- [7] Fujino, M., "Maneuverability in Restricted Waters: State of the Art", Report 184, Dept of Naval Architecture and Marine Engineering, 1976.
- [8] Norrbin, N.H., "Theory and Observations on the Use of a Mathematical Model for Ship Manoeuvring in Deep and Confined Waters", No. 68, Göteborg, 8<sup>th</sup> symposium on Naval Hydrodynamics Pasadena, California, August 1970.
- [9] Schoenherr, K. E., "Data for Estimating Bank Suction Effects in Restricted Water on Merchant Ship Hulls", First Symposium on Ship Manoeuvrability, David Taylor Model basin, Report 1461, October 1960.
- [10] Norrbin, N.H.; Bank effects on a ship moving through a short dredged channel. 10th Symposium on Naval Hydrodynamics. June 1974.
- [11] Norrbin, N.H.; 1985, "Bank clearance and optimal section shape for ship canals", 26<sup>th</sup> PIANC International Navigation Congress. Brussels, Section 1, Subject 1, pp.167-178.
- [12] Brix, J. MTI-Stellungnahme zum Thema "Aus-dem-Ruder-laufen" von Schiffen. HANSA – 116. Jahrgang, 1979, Nr. 18, pp. 1383-1388.
- [13] Varyani, K., Mc Gregor, R. and Wold, P.; Empirical formulae to predict peak of forces and moments during interactions. Hydronav 1999 – Manoeuvring 1999, Gdansk – Ostroda, pp. 338-349.
- [14] Kaplan, P.; Hydrodynamic analysis of a ship collision accident: a triple-play scenario. Proceedings of the international conference MARSIM '96, Copenhagen, Denmark 9-13 September 1996, pages 497-511

### 2.4 Definities

$$C_x = \frac{X}{\frac{1}{2}\rho B T U^2}, \text{ dimensieloze langskrachtcoëfficiënt.}$$

$$C_y = \frac{Y}{\frac{1}{2}\rho B T U^2}, \text{ dimensieloze dwarskrachtcoëfficiënt.}$$

$$C_N = \frac{N}{\frac{1}{2}\rho B^2 T U^2}, \text{ dimensieloze momentcoëfficiënt.}$$

$$F_{nh} = \frac{U}{\sqrt{gh}}, \text{ Froude getal betrokken op waterdiepte.}$$

### 3 SAMENVATTING VAN LITERATUUR, TOEGESPITST OP DE BINNENVAART

In dit hoofdstuk worden de belangrijkste aspecten tegengekomen in de literatuur herhaald en vertaald naar binnenvaartschepen.

#### 3.1 Wanneer wordt zuiging belangrijk (snelheid)

Invloed van zuiging wordt erger ten opzichte van de effecten van roer en schroef boven een bepaalde kritische snelheid. Boven deze snelheid zijn de zuigingskrachten niet meer evenredig met de andere krachten op het schip.

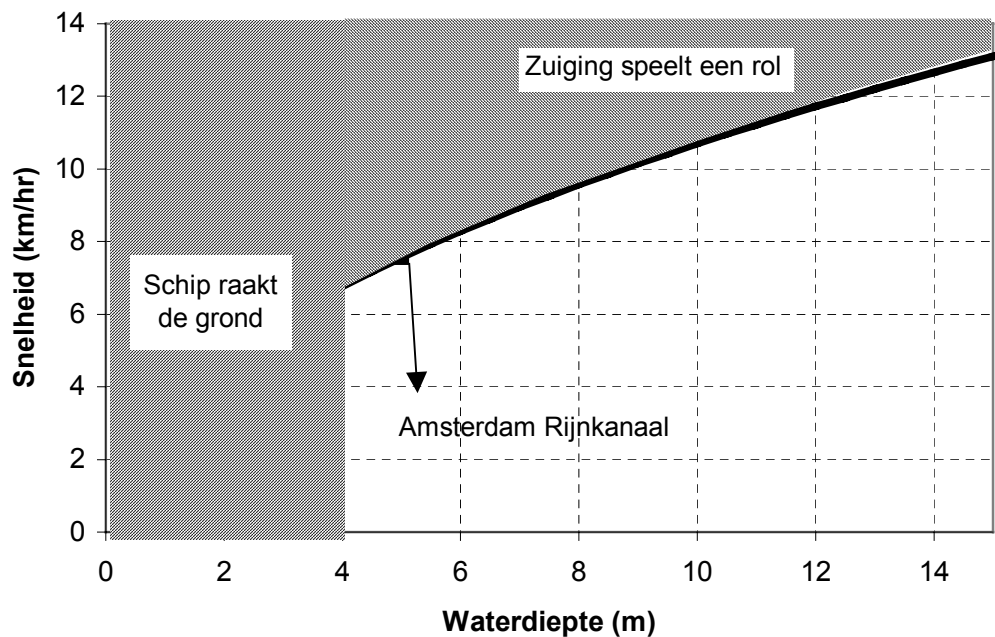
In de literatuur wordt de volgende formule aangehouden, afgeleid voor zeeschepen:

$$0.3 = \frac{U}{\sqrt{9.81 \cdot h}}$$

h is de waterdiepte in meters en U de snelheid in m/s.

Deze formule is afgeleid voor volle zeeschepen (de blok coëfficiënt is ongeveer 0.8). omdat binnenvaartschepen ook een dergelijk grote blok coëfficiënt hebben, is deze formule overgenomen om het effect te visualiseren. Dit resulteert in Figuur 3-1.

#### Waterdiepte snelheidsgrens voor zuiging



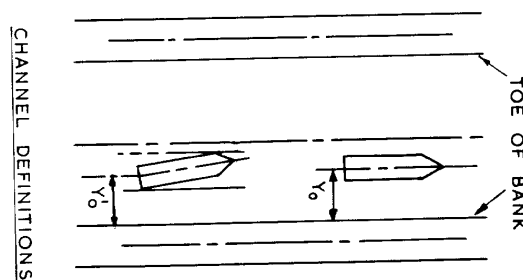
Figuur 3-1 Kritische snelheid waarboven zuiging naar de wal belangrijk wordt voor een bepaald schip (zie tabel T1)

De snelheidsgrens waarboven zuiging belangrijk wordt is hiermee aangegeven. Echter, de literatuur geeft ook aan dat voor verschillende afstanden schip – wal deze zuiging sterker of minder sterk wordt. De belangrijke parameter "afstand tot de wal" is niet in deze kromme opgenomen.

Voor de binnenvaart betekent dit dat het effect van zuiging merkbaar zal zijn boven snelheden tussen 7 en 10 km/u bij "normale" afstanden tot de oever. Bij kleinere afstanden tot de oever (bijvoorbeeld bij het aanvaren van een sluis) is deze zuiging al bij veel lagere snelheden te merken. Dit kan dan gemerkt worden bij snelheden vanaf 0 km/u.

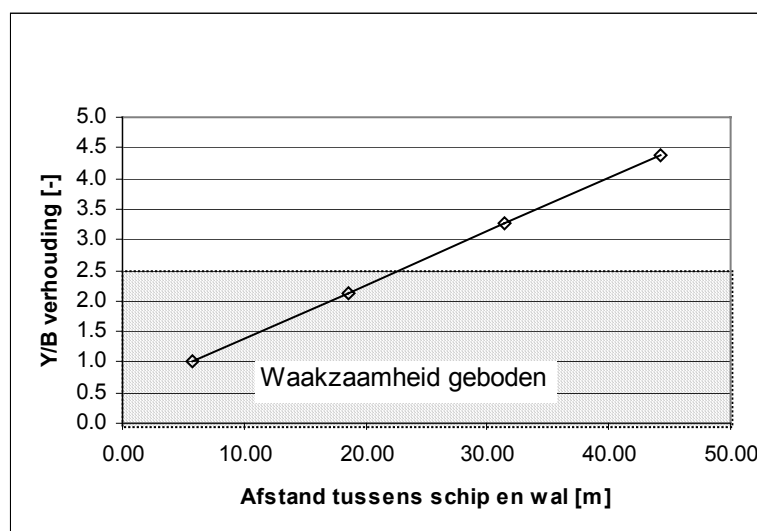
### 3.2 Wanneer wordt zuiging belangrijk (afstand tot de wal)

In de literatuur wordt gekeken naar de afstand tussen de hartlijn van het schip en de oever. Deze afstand wordt gedeeld door de breedte van het schip. Deze verhouding wordt aangeduid als  $Y_0/B$ . Voor een verticale wal wordt de afstand hart-schip tot de oever genomen. Voor een schuine wal wordt de afstand tot de voet van de schuine wal als kenmerkende afstand genomen.



Figuur 3-2 Algemene definitie van de afstand tot de wal (voor zeeschepen)

Voor typische situaties in de binnenvaart varieert deze ratio als aangegeven in Figuur 3-3. Hierbij is aangegeven wanneer de afstand tot de wal belangrijk is.



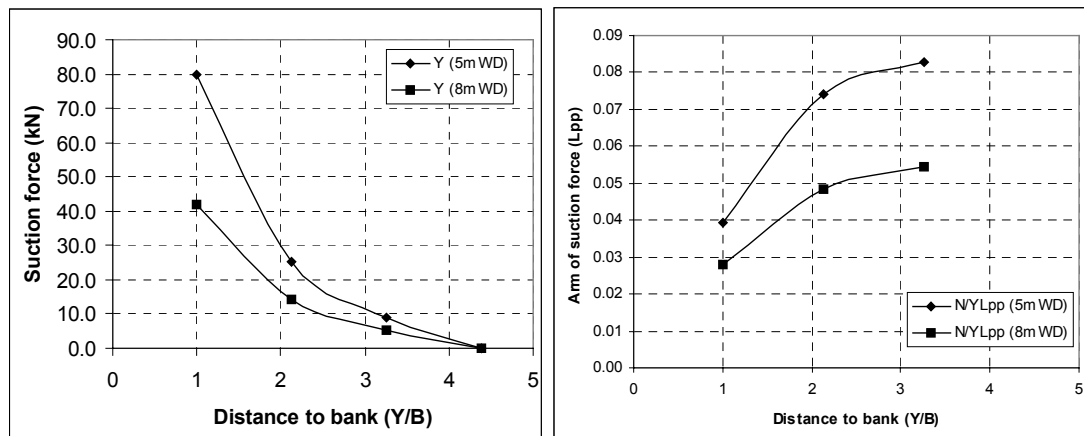
Figuur 3-3 Afstand tussen wal en zijkant schip vergeleken met Y/B verhouding voor Klasse Va schip

Met een afstand van meer dan 25 meter tot de wal (20 meter tussen schip en wal) moet het effect van zuiging dus minder merkbaar zijn.

- Deze situatie is berekend voor een typisch binnenvaartschip met een breedte van 11.4 meter.
- In literatuur wordt aangegeven dat wordt verwacht dat zuiging erg belangrijk wordt bij  $Y_0/B$  verhoudingen onder 2.5.
- In de grafiek zijn een aantal punten aangegeven waarvoor zuigingsberekeningen zijn uitgevoerd. Deze punten komen overeen met gemiddelde en extreme locaties van een binnenvaartschip in bijvoorbeeld het Amsterdam-Rijnkanaal.
- Het effect van schuine oevers is sterker dan het effect van rechte (verticale) oevers. In de literatuur wordt dit beschreven in [8] en [4]. Voor de studie naar het Amsterdam-Rijnkanaal is dit niet van belang, en daarom is het verder niet uitgediept.

### 3.3 Waterdiepte

Uit literatuur blijkt dat de invloed van de waterdiepte belangrijk is. Naarmate de waterdiepte minder wordt, zal de zuiging groter worden. Voor het Amsterdam Rijnkanaal is dat geïllustreerd in Figuur 3-4 voor waterdieptes van 5 en 8 meter. Deze zuigingskrachten zijn gegeven voor een geladen klasse Va schip met een snelheid van 15 km/u.



Figuur 3-4 Invloed waterdiepte op zuigingskrachten

### 3.4 Ontmoetende en oplopende schepen

Er is een belangrijk onderscheid tussen ontmoetende en elkaar oplopende schepen. Omdat de hinderkracht langer aanhoudt bij passerende schepen lijkt het "passerende" scenario voor meer hinder te zorgen.

Voor elkaar passerende en ontmoetende schepen zijn twee parameters erg belangrijk:

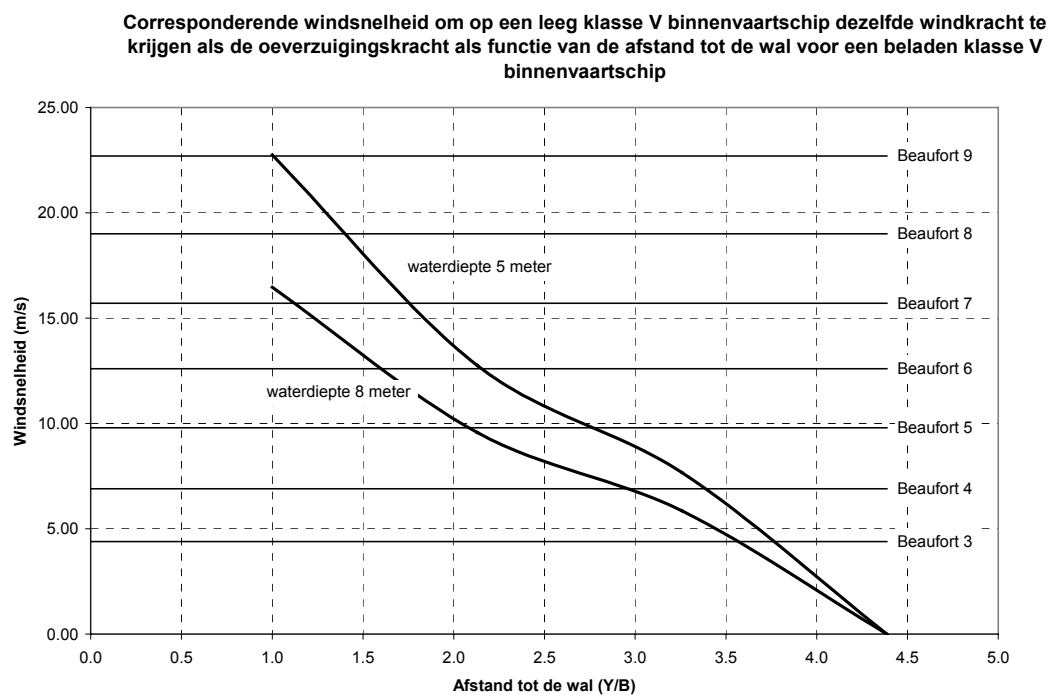
- De waterdiepte: tussen  $Wd/T = 1.2$  en  $Wd/T = 1.5$  zit een verschil in zuigingskracht van een factor 2.
- De onderlinge afstand: tussen  $Y/B = 1.6$  en  $Y/B = 3.7$  zit een verschil in zuigingskracht van een factor 4.



### 3.5 Vergelijking met windkrachten

Om een indruk te krijgen van de grootte van de zuigingskrachten, zijn deze krachten vergeleken met windkrachten die op een typisch binnenvaartschip werken.

Hier toe zijn de zuigingskrachten berekend op een beladen klasse Va binnenvaartschip ( $L = 110$  m). De windkrachten zijn berekend voor een leeg klasse Va schip. Zo is berekend met welke windsnelheid dezelfde kracht wordt verkregen als gevolg van welke zuigingskracht als functie van de afstand tot de wal. Dit is geïllustreerd in figuur 3-5. Hier wordt de zuigingskracht vergeleken met een windkracht die haaks op het schip zou staan.



*Figuur 3-5 Vergelijking tussen zuigingskrachten en windkrachten voor vaarsnelheid 15 km/u*

Deze figuur laat zien dat dicht bij de wal een belangrijke zuigingskracht wordt opgewekt. In ondiep water correspondeert deze zelfs met een windkracht van Beaufort 9. Naarmate de afstand tot de wal groter wordt neemt de “vergelijkbare” windkracht af.

### 3.6 Conclusies

Uit literatuur en systematische onderzoeken uitgevoerd voor zeeschepen met vergelijkbare volheid zijn een aantal aspecten afgeleid. Situaties waarbij zuiging optreedt zijn gedomineerd door:

- afstand tot de wal (omgekeerd evenredig);
- snelheid (ongeveer kwadratisch);
- waterdiepte (omgekeerd evenredig).

In dit hoofdstuk zijn de waardes van zeeschepen toegepast voor een typisch binnenvaartschip. Voor de binnenvaart worden alle parameters wel eens overschreden:

- De waterdiepte is over het algemeen vaker onder de snelheids waterdiepte grens zoals aangegeven in figuur 3-1.
- De snelheid is regelmatig boven de 7 tot 10 kilometer per uur.
- Er wordt in het algemeen in het midden van kanalen gevaren. Echter tijdens inhaalmanoeuvres of bij tegemoetkomende schepen kan de afstand tot de wal minder dan 2.5 scheepsbreedtes worden.

## 4 ONDERZOEK NAAR AMSTERDAM-RIJNKANAAL SITUATIE

Het Amsterdam-Rijnkanaal is een vaarweg waarin typisch met hoge snelheden wordt gevaren en waarbij de waterdiepte beperkt kan zijn. Ook de afstand tot de wal kan regelmatig klein worden.

### 4.1 Programma van simulaties

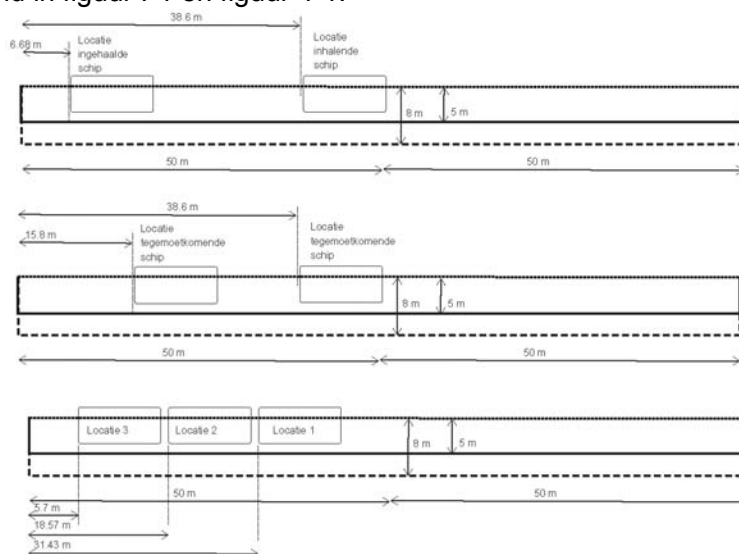
Voor een klasse Va schip varend in het Amsterdam-Rijnkanaal zijn de situaties zoals aangegeven in figuur F1 onderzocht door middel van fast time simulaties. Deze reële situaties zijn onderzocht voor 2 situaties, te weten 8 meter waterdiepte en 5 meter waterdiepte. De resultaten van de berekeningen zijn gegeven in de figuren F2-F40, F41-F52 en F53-F91.

#### 4.1.1 Schip gebruikt voor de simulaties

De simulaties zijn uitgevoerd met typische klasse Va schip. De hoofdafmetingen van het gebruikte Va schip zijn gegeven in tabel T1. Van dit schip zijn de gegevens bekend. Een mathematisch model van dit schip is gebruikt om manoeuvres te berekenen. Het schip was beladen in alle berekeningen.

#### 4.1.2 Berekende oeverzuigingskrachten

Zoals is verklaard in eerdere hoofdstukken zijn de zuigingskrachten afhankelijk van snelheid, type en vorm van het schip, vorm van de vaarweg en de positie van het schip in de vaarweg. Voor deze studie zijn de zuigingskrachten berekend voor de vaarweg zoals getekend in figuur F1 en figuur 4-1.



Figuur 4-1 Locatie van schip in kanaal

De vaarweg is een rechthoekig profiel en een klasse Va schip bevindt zich in het kanaal. Voor een reeks van condities is deze zuigingskracht bepaald. Deze zuigingskrachten zijn in de simulaties ingebracht, zodat zowel de berekende

zuigingskracht en de correcte stuur- en manoeuvreereigenschappen van het schip in de simulaties zijn gebruikt.

Een beschrijving van de berekeningsmethode is gegeven in Appendix I.

#### **4.1.3 Stuurautomaten**

Gedurende de simulaties werd het schip gestuurd door een automaat. Er zijn 2 automaten mogelijk, de bochtautomaat en de baanvolgende stuurautomaat. De simulaties zijn uitgevoerd met de volgende settings:

- Gestuurd met een baanvolgende stuurautomaat (deze wijze van sturen komt overeen met het gebruik van menselijke kennis).
- Gestuurd door een bochtautomaat (ook wel Rate-of-turn automaat. Deze automaat komt veel voor in de binnenvaart). Deze automaat wordt in de praktijk ingesteld om een bocht te draaien van 0 graden per minuut (recht door varen dus). De settings van de bochtautomaat waarmee de simulaties zijn uitgevoerd zijn hieronder gegeven. Deze komen overeen met een optimale setting van de bochtautomaat.
- Nadat een bepaalde tijd op de bochtautomaat was gevaren, werd de baanvolgende stuurautomaat ingeschakeld. Dit komt overeen met de situatie in werkelijkheid waarbij een mens een correctie op de bochtautomaat zou doen. De mate waarin deze correctie moet optreden is een parameter voor hoe gevaarlijk de ontstane situatie was.

De instellingen van de parameters van de automaat en zijn zodanig dat:

- iedere graad koersafwijking resulteert in 8.9 graden extra roerhoek;
- iedere meter dwarsafwijking (t.o.v. de opgegeven baan) resulteert in 2.9 graden extra roerhoek (deze setting is 0 voor de bochtautomaat);
- bij een vaarsnelheid van 9 km/uur resulteert iedere graad/min. draaisnelheid in 3.6 graden extra roerhoek;
- bij een vaarsnelheid van 12 km/uur resulteert iedere graad/min. draaisnelheid in 2.7 graden extra roerhoek;
- bij een vaarsnelheid van 15 km/uur resulteert iedere graad/min. draaisnelheid in 2.1 graden extra roerhoek;

Deze settings zijn gekozen om zowel resultaten te verkrijgen met een baanvolgende stuurautomaat (een zeer goede sturing van het schip, zoals een mens zou sturen) alsook een reële stuurautomaat zoals vaak geïnstalleerd op binnenvaartschepen (de bochtautomaat).

In Appendix II wordt de werking van de automaat tijdens de fast-time simulaties uitgelegd.

#### 4.1.4 Samenvatting uitgevoerde simulaties

Voor verschillende waterdieptes en snelheden zijn simulaties uitgevoerd met zowel de baanvolgende stuurautomaat (representatief voor menselijk sturen) en de bochtautomaat (representatief voor een echte stuurautomaat uit de binnenvaart). Tijdens het uitvoeren van de simulaties bleek dat het gebruik van de bochtautomaat altijd leidde tot ongevallen. Kennelijk leidt het lang alleen laten varen op de bochtautomaat (zonder correctief ingrijpen) altijd tot een offset. Dit wordt bevestigd door de literatuur.

Dit geconstateerd hebbende is onderzocht hoeveel tijd de bochtautomaat maximaal alleen zou mogen sturen voordat gevaarlijke situaties ontstaan. Dit is onderzocht door na een aantal meters gevarende te hebben de baanvolgende stuurautomaat het over te laten nemen van de bochtautomaat. Hierdoor wordt gesimuleerd dat de mens het overneemt van de stuurautomaat. Door het gedrag na die ingreep te analyseren wordt gekeken of de tijd aanvaardbaar is of niet. Er is gekozen voor ingrepen na diverse afgelegde afstanden. Deze tijdstappen zijn gekozen op tijdstippen dat er een redelijk grote afwijking is, maar niet al te groot zodat een redelijke ingreep nog mogelijk is. Ook is er gekozen om het schip een behoorlijke tijd alleen te laten varen. Ook is ervoor gekozen om op diverse momenten in te grijpen. Het doel hiervan is om het verschil in reactietijd van de automaat te onderzoeken.

De volgende runs zijn in diep water uitgevoerd:

Water-diepte	Stuurwijze	Afstand tot wal Y/B	Ingreep na x meter	Benodigde maximale roerhoek (graden)	Resultaten (scheepssnelheid 15 km/u)
8 m	Baanvolgende stuurautomaat ("menselijk")	3.3	-	0.4	F2-F4
	Bocht automaat (binnenvaart automaat)		-	-	F5-F7
			700	5	F8-F10
			1100	12	F11-F13
	Baanvolgende stuurautomaat ("menselijk")	2.1	-	0.9	F14-F16
	Bocht automaat (binnenvaart automaat)		-	-	F17-F19
			700	11	F20-F22
			900	20	F23-F25
	1100	31	F26-F28		
	Baanvolgende stuurautomaat ("menselijk")	1.0	-	2.5	F29-F31
	Bocht automaat (binnenvaart automaat)		-	-	F32-F34
			500	18	F35-F37
600			28	F38-F40	

De volgende runs zijn in ondiep water uitgevoerd:

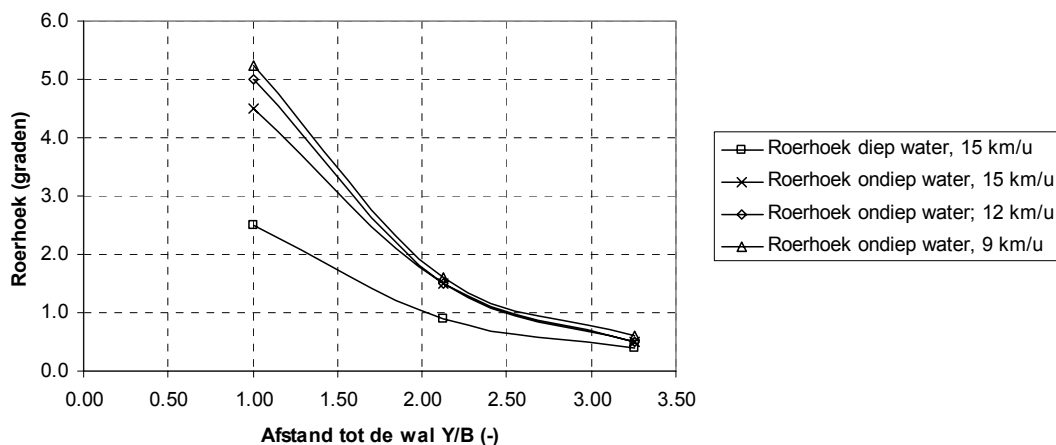
Water - diepte	Stuurwijze	Afstand tot wal Y/B	Ingrep na x meter	Resultaten			Benodigde maximale roerhoek			
				15 km/u	12 km/u	9 km/u	15 km/u	12 km/u	9 km/u	
5 m	Baan- volgende stuurautomaat	3.3	-	F53-F55	F92-F94	F131-F133	0.5	0.5	0.6	
	Bocht automaat		-	F56-F58	F95-F97	F134-F136				
			700	F59-F61	F98-F100	F137-F139	5	6	6	
				1100	F62-F64	F101-F103	F140-F142	17	18	18
	Baan- volgende stuurautomaat	2.1	-	F65-F67	F104-F106	F143-F145	1.5	1.5	1.6	
	Bocht automaat		-	F68-F70	F107-F109	F146-F148				
			700	F71-F73	F110-F112	F149-F151	17	18	21	
			900	F74-F76	F113-F115	F152-F154	28	35	37	
				1100	F77-F79	F116-F118	F155-F157	35	41	45
	Baan- volgende stuurautomaat	1.0	-	F80-F82	F119-F121	F158-F160	4.5	5.0	5.3	
	Bocht automaat		-	F83-F85	F122-F124	F161-F163				
			500	F86-F88	F125-F127	F164-F166	22	28	32	
600			F89-F91	F128-F130	F167-F169	35	40	45		

## 4.2 Discussie van simulaties

### 4.2.1 Sturen met de baanvolgende stuurautomaat

Wanneer het schip door de baanvolgende stuurautomaat (op de "menselijke" manier) wordt bestuurd, is het schip goed op koers te houden. Naarmate de positie van het schip dichter tegen de wand van het kanaal is, zijn de drifhoek en de roerhoek die nodig zijn om koers te houden groter. In ondiep water zal de benodigde roerhoek het grootst zijn, omdat de zuigingskracht in ondiep water het grootste is.

In figuur 4-2 staat de roerhoek gegeven, die nodig is om zuigingskrachten te compenseren. Deze figuur laat zien dat in principe met redelijke hoeken, het schip goed op koers is te houden. Fysiek gezien is het fenomeen oeverzuiging dus op te lossen. Dit geldt voor typische configuraties (snelheden, waterdieptes) bij de binnenvaart.



Figuur 4-2 Benodigde roerhoeken om baan te blijven houden in een kanaal

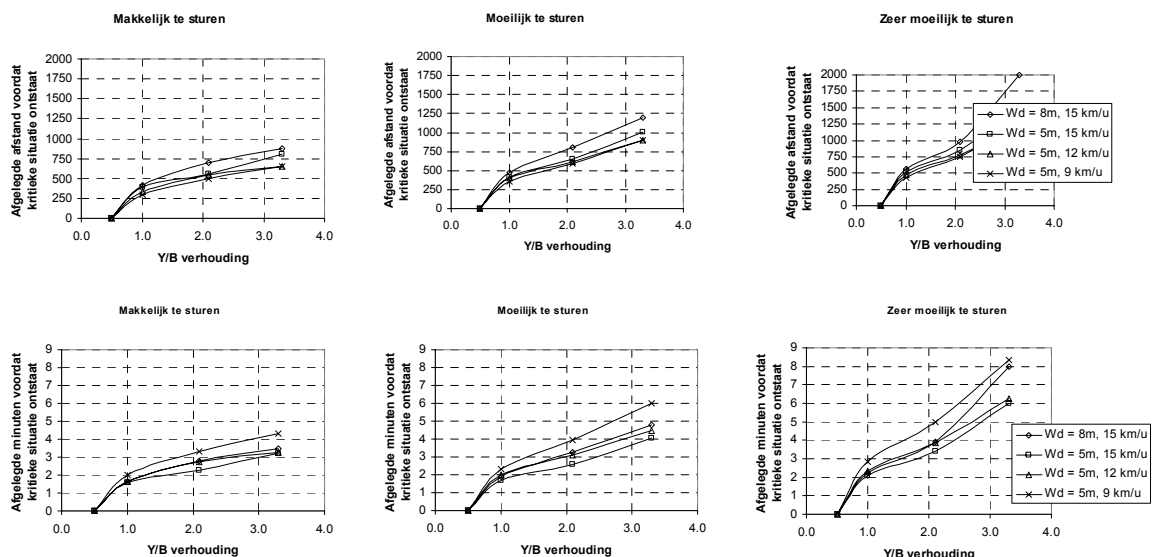
#### 4.2.2 Sturen met de bochtautomaat

Wanneer de bochtautomaat stuurt, treden er andere verschijnselen op. Het blijkt dat de bochtautomaat na verloop van tijd ALTIJD het schip uit koers laat raken. Deze automaat slaagt er dus niet in om het schip op koers te houden. Dit in tegenstelling tot de baanvolgende stuurautomaat ("menselijke" sturing), waarbij er geen probleem is (zie F2-F4, F14-F16 en F29-F31). De reden hiervoor is de werking van de bochtautomaat. Deze reageert op een draai van het schip. Als gevolg van zuiging zal het schip echter geen draai krijgen, maar een beweging vrijwel parallel naar de wal toe. De automaat merkt nauwelijks of geen verdraaiing en zal niet afdoende reageren. Wanneer het schip zelfs een "bow out" moment te verwerken krijgt zal er een draaisnelheid ontstaan naar het midden van het kanaal toe. De stuurautomaat stuurt dan terug, d.w.z. de stuurautomaat stuurt naar de wal toe. Hiermee is aangetoond dat het fenomeen oeverzuiging niet een groot fysisch probleem veroorzaakt, maar vooral een controle probleem. De vertraging in de reactie of een onvoldoende sturing zorgen voor het mogelijke controle probleem. De grootte van het controleprobleem wordt beïnvloed door:

- snelheid
- tijd dat de bochtautomaat zonder correctie stuurt
- de afstand tot de wal (Y/B)

Daarom is gekeken naar de tijd die de bochtautomaat maximaal alleen zou mogen sturen zonder interventie. De tijd waarbij de mens "het nog kan overnemen" zonder dat er een ongeluk gebeurt is daarop berekend. Deze tijd is afhankelijk van de afstand tot de wal, omdat dichtbij de wal een afwijking van de baan veel minder te tolereren is. Ook de zuigingskracht is groter, waardoor er sneller een moeilijke situatie ontstaat.

In de volgende figuur zijn de afstanden en tijden aangegeven waarbinnen de "menselijke" ingreep het schip nog net kan redden, en op welke manier.



Figuur 4-2 Tijd en afstand voordat een kritische situatie ontstaat

Deze data is afgeleid uit de gerapporteerde manoeuvres (zie figuren F2 tot en met F169), en wordt gebruikt als het basismateriaal voor de afleiding van "look up figuren".

### 4.2.3 Opzoekgrafieken

Een moeilijke manoeuvre wordt gekenmerkt wanneer een roerhoek van meer dan 15 graden nodig is om het schip weer terug in zijn baan te krijgen. De "makkelijk" te sturen ingreep gaat uit van een geringe roeruitslag (8 graden) waarmee het schip te corrigeren valt. Zeer moeilijk gaat uit van extreme roerhoeken op de juiste tijdstippen, roerhoeken groter dan 25 graden.

Hierbij wordt ervan uitgegaan dat na de kritische tijd toch nog steeds de juiste nautische beslissingen moeten worden genomen om het schip goed te sturen. Wanneer de niet juiste nautische beslissing wordt genomen is er geen tijd meer om de manoeuvre te stutten.

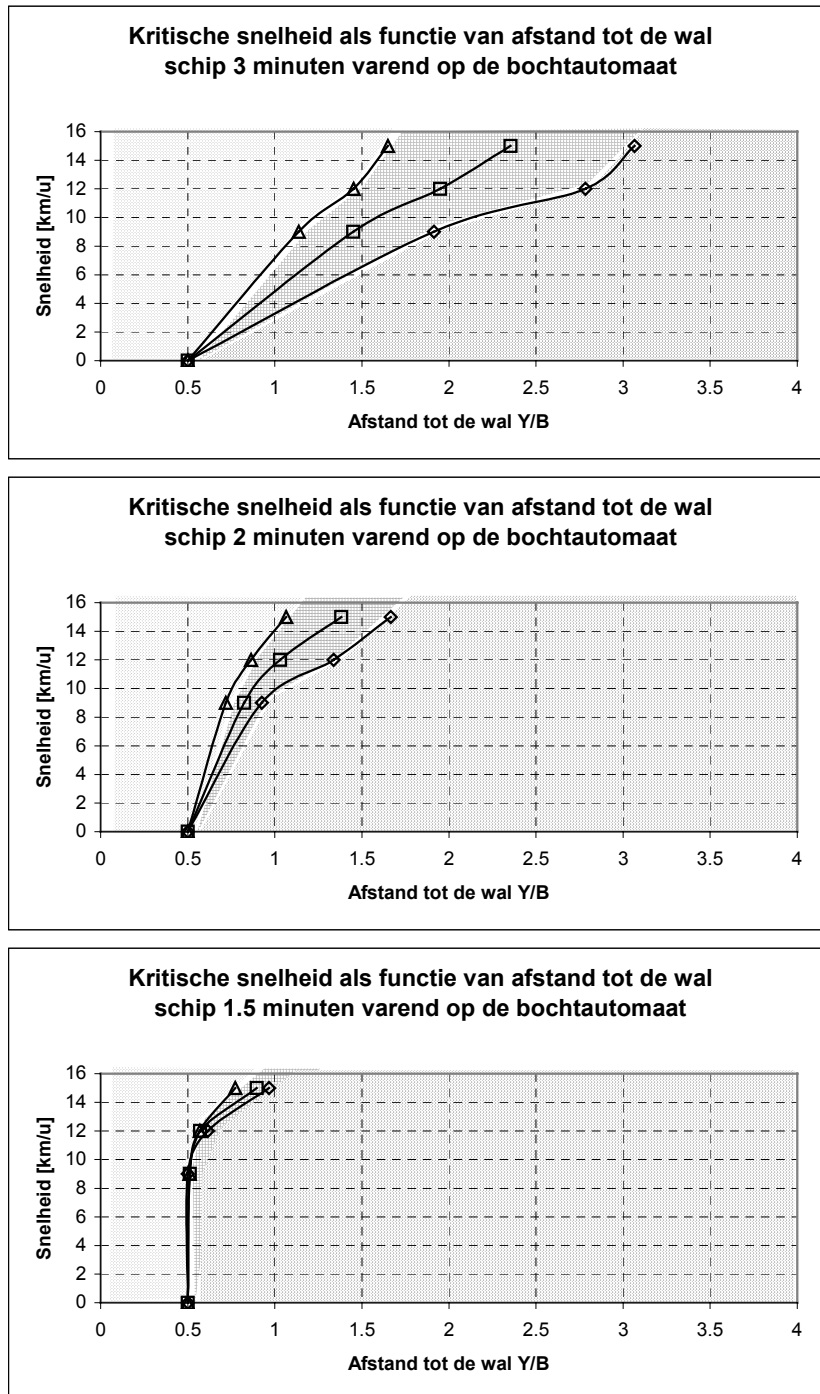
Als de kritische tijd op 3 minuten wordt gesteld, dan moeten schepen dus (bij deze snelheid van 15 km/u) minstens 1.3 scheepsbreedte uit de wal blijven in diep water en 2 scheepsbreedtes in ondiep water.

Op basis van de gegevens uit de simulaties worden de volgende gegevens afgeleid: De kritische snelheid voor een schip dat 1.5, 2 en 3 minuten alleen wordt gelaten op de bochtautomaat, als functie van de afstand tot de wal.

Deze opzoekgrafieken moeten als volgt gelezen worden:

- Voor de positie van het schip in het kanaal (geschat als Y/B) en de snelheid (km/uur),
- moet worden ingeschat hoe lang het schip heeft gevaren op alleen de bochtautomaat.
- Vervolgens kunnen de grafieken worden gebruikt om te kijken of het schip de controle zou hebben kunnen houden.





Figuur 4-3 Opzoekgrafieken voor combinatie snelheid, afstand tot de wal

### 4.3 Oplopende en ontmoetende schepen

Simulaties zijn uitgevoerd voor twee testcases, een "ontmoet" situatie en een "oploop" situatie. Het doel is om te kijken of deze gevallen ook goed berekend kunnen worden en welke roerhoeken hierbij optreden.

Naast de runs met alleenvarende schepen in een kanaal (hetgeen het doel van deze studie was) zijn berekeningen gedaan aan oplopende en passerende schepen.

Waterdiepte	Stuurwijze	Resultaten
8 m	Ontmoetende schepen	F41-F46
	Passerende schepen	F47-F52

Uit de simulaties blijkt dat de baanvolgende stuurautomaat de krachten goed opvangt in beide gevallen.

Uit de resultaten van de simulaties volgt dat de situatie van ontmoetende schepen de gevaarlijkste situatie zal zijn. De roerhoeken die optreden zijn hierbij duidelijk groter (F51 en F48). Voor oplopende schepen zijn de roerhoeken veel kleiner. Het gevaar lijkt dan ook kleiner. Het gedrag komt overeen met aspecten geobserveerd in de literatuur.

Hiermee is aangetoond dat de rekenmethode naast de enkelschip situaties ook goede resultaten lijkt te geven voor ontmoetingen en oploopmanoeuvres.

## 5 CONCLUSIES

De volgende conclusies kunnen getrokken worden:

- Er is aangetoond dat het fysisch verschijnsel oeverzuiging altijd aanwezig zal zijn voor binnenvaartschepen varende in beperkt water als kanalen. Met kleine roeruitslagen is deze oeverzuiging echter al te controleren. Dit is waar zolang er geen te grote vertraging in de controle zit. Er is aangetoond dat het fenomeen oeverzuiging voor de binnenvaart reduceert tot een controle probleem.
- Met een normale bochtautomaat uit de binnenvaart zal het schip niet zonder ingrijpen zijn koers kunnen houden. Na verloop van tijd is er een koers en dwarsafwijking die tot een aanvaring met de wal kan leiden.
- Er kan een minimum tijd worden afgeleid die de automaat maximaal alleen mag sturen. Deze is afhankelijk van de positie in het kanaal, waterdiepte en scheepssnelheid.
- De zuigingskrachten zijn niet zo groot. Het effect van de zuiging is echter een effect dat niet wordt opgevangen door de bochtautomaat. Daarom is "menselijke" sturing, een baanvolgende stuurautomaat of een tijd waarmee de automaat maximaal alleen mag sturen, noodzakelijk.
- Het is mogelijk om opzoekgrafieken te maken waarbij er een "gevaarlijke" zone van snelheden en afstand tot de wal wordt gemaakt. Dit is aangetoond voor één situatie met een rechthoekig kanaal en één scheepstype.
- Bij ontmoetende schepen lijken ook grote roerhoeken nodig te zijn. Er is aangetoond dat met deze methode krachten kunnen worden berekend en dat het niveau van kennis en gereedschappen voldoende is om rekenenderwijs verder te gaan.
- Bij tegemoetkomende schepen lijkt de onderlinge hinder tussen de schepen minder erg dan bij elkaar inhalende schepen. Het snelheidsverschil is groter, waardoor de hinderkracht groter is, maar de tijdsduur van deze kracht is minder.

Wageningen, April 2003  
MARITIME RESEARCH INSTITUTE NETHERLANDS

Ir A.H. Hubregtse  
Vice President