



2. Haagsteeg
P.O. Box 28
6700 AA Wageningen
The Netherlands
Telephone +31 317 47 99 11
Fax +31 317 47 99 99
<http://www.marin.nl>
info@marin.nl

MARIN'S NAUTICAL CENTRE MSCN

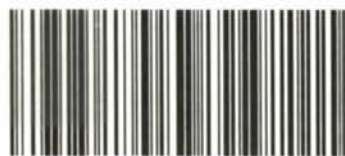
Simulaties planstudie Boven-IJssel

Eindrapport nr. 17042.600/4

DEEL 1 TEKST

OI - Nat
afdelingsarchief

93



RWS_Item_00318



07 oktober 2002

MARIN
2, Haagsteeg
P.O. Box 28
6700 AA Wageningen
The Netherlands
Phone +31 317 479911
Fax +31 317 479999
Internet www.marin.nl
E-mail mscn@marin.nl

Eindrapport Nr. 17042.600/4

**SIMULATIES PLANSTUDIE
BOVEN-IJSSEL**

DEEL 1: TEKST

1 oktober 2002

Paraaf Management:



SIMULATIES PLANSTUDIE BOVEN-IJSSEL

DEEL 1: TEKST

Opdrachtgever : Directoraat-Generaal Rijkswaterstaat
Directie Oost-Nederland
Postbus 9070
6800 ED ARNHEM

Referentie : 17042.600

Auteurs : Ir. F.S.H. Verkerk en Ir. D. ten Hove

INHOUDSOPGAVE

Hoofdstuk	Pagina
SAMENVATTING	4
1 INLEIDING	9
2 DOEL VAN HET ONDERZOEK	11
3 PROJECTFASEN	12
4 DEFINITIE EN VOORBEREIDING	14
4.1 Definitie	14
4.2 Te onderzoeken traject	14
4.3 Wind	18
4.4 Waterstand en bodemligging	18
4.4.1 Bestaande situatie	18
4.4.2 Verruimde variant	19
4.4.3 Verbrede variant	20
4.5 Stroom condities	20
4.5.1 Stroom in de bestaande situatie	20
4.5.2 Stroom in de verruimde variant	20
4.5.3 Stroom in de verbrede variant	21
4.6 Modellering van de maatgevende schepen	21
4.7 Verkeersscenario's	22
4.8 Buitenbeeld en radar image	23
4.9 Inspectie en testen van de database	23
5 VOORBEREIDING MANOEUVREERSIMULATIES	25
5.1 Programma fast-time simulaties voorontwerp	25
5.2 Analyse fast-time simulatie resultaten	25
5.3 Soorten ontmoetingen en gehanteerde marges	28
5.4 Scenario's voor real-time simulaties	29
6 HET SIMULATOREXPERIMENT	33
6.1 Uitvoering van het experiment	33
6.1.1 Inleiding	33
6.1.2 Uitrusting van de simulatorbruggen	33
6.1.3 Uitvoering van de simulatorruns	34
6.1.4 Verwerking van de resultaten	34
6.2 Analyse van de simulatorruns	34
6.2.1 Opzet van de analyse	34
6.2.2 Resultaten van de analyse	36
6.3 Effecten van de diepgang van het ongeladen schip en boegschroefgebruik	54
7 MARGES	58
8 CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN	65
9 REFERENTIES	68

BIJLAGE H: Vergelijking Klasse Va schepen

DEEL 2: BIJLAGEN

(separaat ingebonden)

- BIJLAGE A: Enige voorbeelden van diepteplots, botscontouren en oeverzuigingslijnen
- BIJLAGE B: Stroomveld
- BIJLAGE C: Eigenschappen van de schepen
- BIJLAGE D: SHIPMA resultaten, vaarbaanplots en dataplots
- BIJLAGE E: Schema uitgevoerde simulator vaarten
- BIJLAGE F: Analyse plots van de real-time simulaties
- BIJLAGE G: Simulatieresultaten draaisnelheidsproef met het geladen Klasse Va schip

SAMENVATTING

In de 'Verkenning IJssel' [7] is geconstateerd dat de problemen voor de scheepvaart op de IJssel voornamelijk het bochtige en smalle verloop van de rivier betreffen. Dit manifesteert zich vooral in breedteproblemen in de bochten en op de rechte gedeelten veroorzaakt door o.a. ondieptes. Als gevolg hiervan moeten de schepen geregeld met beperkte lading varen en maakt het de IJssel tot een moeilijk bevaarbare rivier. Vooral dit laatste komt de veiligheid niet ten goede. Hoewel de IJssel is aangemerkt als een Klasse Va vaarweg, is geconcludeerd dat de breedte op veel gedeelten niet aan de normen van een Klasse IV vaarweg voldoet. Dit speelt vooral op de smalle en bochtige Boven-IJssel.

Naar aanleiding van de conclusies en aanbevelingen in de 'Verkenning IJssel' [7] heeft de Minister van Verkeer en Waterstaat in 2001 besloten om een Planstudie IJssel te starten naar de aanpak van de scheepvaartknelpunten op de Boven-IJssel. De planstudie beoogt de situatie voor de scheepvaart te verbeteren door in de knelpunten de geul te verruimen, omdat uit de verkenning is gebleken dat daarvoor ook mogelijkheden zijn. Tegelijkertijd is geconstateerd dat ondanks verruiming van de vaargeul de grotere schepen zullen moeten varen met kleine marges. Gegeven deze constatering wordt het van belang te weten welke marges schippers minimaal aanhouden om een veilige en vlotte vaart te realiseren. Daarom heeft Directoraat-Generaal Rijkswaterstaat, Directie Oost-Nederland aan MARIN/MSCN opdracht gegeven om in samenwerking met TNO-TM een onderzoek uit te voeren, getiteld: 'Planstudie Boven-IJssel; Omgaan met kleine marges, een simulatorstudie'. Het onderzoek is gebaseerd op een simulatorstudie, gecombineerd met werklasmetingen.

Het doel van het onderzoek is vast te stellen hoe groot de marges tussen schepen minimaal moeten zijn in situaties die voor de Boven-IJssel typisch en maatgevend zijn. Hierbij gaat het om het in kaart brengen van de relatie tussen aangehouden marge, mentale belasting en stuurinspanning en de perceptie van veiligheid en vlotheid.

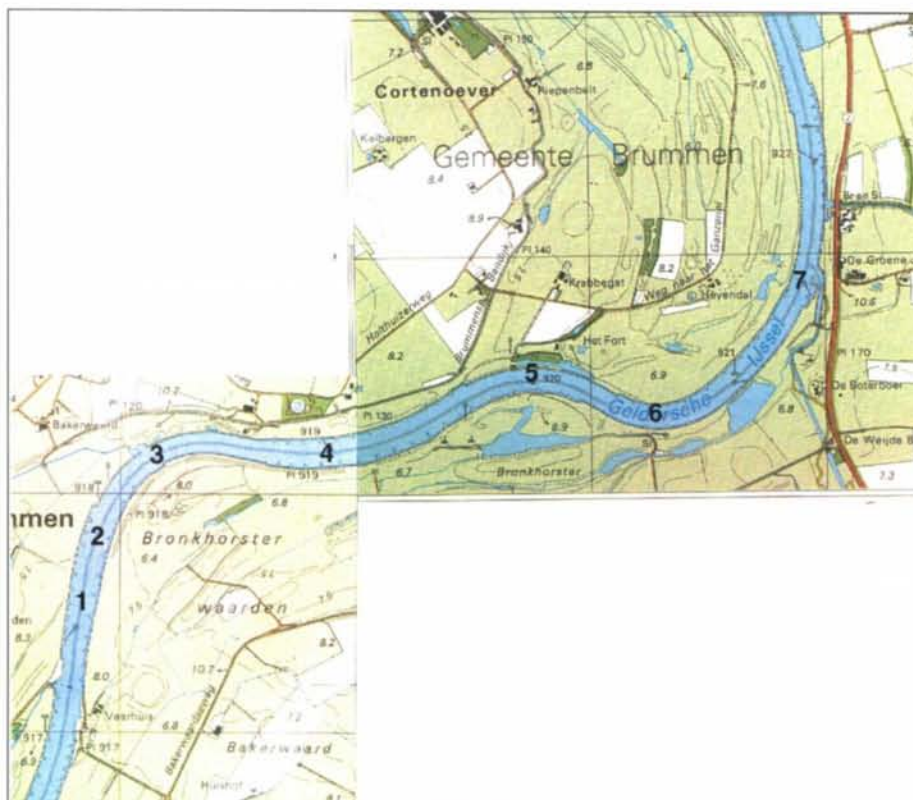
Het onderzoek moet daarbij de mogelijkheid bieden om:

- Een beoordeling te geven van de effecten van mogelijke verruimingen van de geul ter plaatse van een aantal bestaande knelpunten ten aanzien van ontmoetingen van Klasse Va schepen op de IJssel;
- In algemenere zin (toepasbaar op andere schepen, andere bochtstraal, andere geulbreedte en ander verkeer) de kleinst mogelijke marges bij de ontmoeting van twee schepen in voor de IJssel karakteristieke situaties vast te stellen;
- De verschillen in vaargedrag te beoordelen tussen z.g. IJsselschippers van Klasse Va schepen en schippers van Klasse Va schepen die niet de specifieke plaatselijke bekendheid en ervaring hebben;
- De inspanning en werklast te bepalen voor het varen van de twee groepen schippers in de aangeboden (krappe) vaarscenario's.

Op hoofdlijnen is voor de uitvoering van het onderzoek de volgende aanpak gevolgd:

- Fase 1: Definitie van de te onderzoeken knelpunten en vaststellen van de te modelleren omgeving en maatgevende schepen;
Ontwerp van het experiment voor het meten van de werkbelasting van de schippers tijdens het uitvoeren van de simulatorvaarten (het werklast experiment) ;
Vorbereiding van de simulator;
- Fase 2: Voorontwerp en opzet van de te onderzoeken scenario's;
- Fase 3: Uitvoering van het simulatorexperiment;
- Fase 4: Analyse en rapportage.

Het traject voor de real-time simulaties is gebaseerd op de bestaande IJsselgeul tussen km raai 917 en 922 (zie figuur). De bochtstralen zijn gelijk aan de werkelijke situatie, oever en bodem hebben het karakter van de rivier ter plaatse, evenals de vorm en diepte van de kribvakken. Om de resultaten van de simulaties niet te laten beïnvloeden door enig achterstallig baggerwerk in de bestaande situatie, zijn in het bodemveld voor de bestaande situatie een aantal kleine ondieptes 'opgeschoond' tot een diepte van OLR min 1.9 m.



Topografische kaart van het gemodelleerde traject

Om effecten van verruimingen van de bestaande knelpunten in kaart te brengen is er voor gekozen om in de eerste variant op de bestaande situatie alleen de ondieptes in de binnenbochten weg te halen en de rivier een egale bodemligging te geven (de

verruimde variant). Het gevolg is alleen verbreding van de rivier in de twee knelpunten (bocht 3 en 6).

Om ook de effecten van een verbreding van de hele vaarweg in beeld te brengen en de resultaten toepasbaar te maken voor andere locaties is als tweede variant de verruimde variant met 10 m verbreed t.o.v. de vaarwegas (de verbrede variant). De bochtstralen zijn dan wel gelijk aan de bestaande situatie.

Het traject is gekozen omdat dit deel van de rivier een aantal bestaande knelpunten bevat waardoor de resultaten direct bruikbaar zijn voor de beoordeling van de actuele situatie. Daarnaast bezat dit traject een aantal bochten met bijbehorende bochtstralen die in eventueel verruimde of verbrede versie ook elders op de IJssel zouden kunnen voorkomen. De resultaten van de vaarten in de verruimde of verbrede versie zijn dan ook meer generiek bruikbaar voor andere delen van de rivier.

De gesimuleerde verkeersscenario's bestaan uit situaties waarbij een leeg afvarend Klasse Va schip in twee van de bochten in het traject (2 t/m 7 in de figuur) een geladen opvarend Klasse Va schip tegenkomt en in een bocht een pleziervaartuig moet oplopen. In de ontmoeting met het geladen schip vaart het afvarende lege schip altijd de buitenbocht. De ontmoetingen zijn afwisselend met een door een schipper gestuurd schip (interactief) en met een schip met een voorgeprogrammeerde baan. De recreatievaarder vaart altijd langs een voorgeprogrammeerde baan.

In het onderzoek zijn de vaarmarges en padbreedtes bij de ontmoetingen van de twee Klasse Va schepen geanalyseerd. Het betreft de onderlinge marges tussen de schepen en de marges tot de oevers. Tijdens de ontmoetingen is door middel van het laten uitvoeren van neventaken de werkbelasting van de schippers gemeten. De analyse heeft plaatsgevonden voor de bestaande situatie, voor de verruimde variant en voor de verbrede variant.

De resultaten van het onderzoek zijn samengevat in conclusies naar aanleiding van de numerieke resultaten, een aantal algemene conclusies en aanbevelingen.

Conclusies naar aanleiding van de numerieke resultaten

In de huidige situatie kunnen ontmoetingen plaatsvinden, maar hebben enkele simulaties in de krappe bochten (3 en 6 in de figuur) geleid tot onacceptabele situaties.

De onderlinge marge bij een verbreding van de vaargeul neemt nauwelijks toe als de schippers in de smalste variant al een onderlinge marge van 9 tot 10 m kunnen realiseren. Als, zoals in de scherpe bochten het geval is, in de smalste variant een kleinere onderlinge marge gehanteerd wordt (ca. 7 m), dan is er wel een effect van de verbreding zichtbaar. De scherpe bochten laten zien dat, als de ruimte beschikbaar is, een marge van ongeveer 10 m aangehouden wordt. Overigens laten de resultaten van de werklastmetingen zien dat ook in de scherpe bochten in de huidige situatie de mentale belasting niet onacceptabel hoog is. Wel is de mentale belasting hoger in krappe bochten.

Zoals te verwachten was veranderen de padbreedtes van de schepen niet bij verbreding van de vaarweg.

Verruiming van de vaarweg (baggeren van ondiepe gedeelten) resulteert niet in een significante verandering van de marges. Met name het opvarende schip vaart een meer vloeiende lijn en realiseert daarmee een iets kleinere marge ten opzichte van de oever.

De verbreding van de vaarweg resulteert vooral in een vergroting van de marges tot de oever. De marge tot de linkeroever wordt met 3 – 4 m vergroot en de marge tot de rechteroever met 5 – 6 m.

Gemiddeld over alle bochten hanteert het lege schip in de huidige situatie een marge tot de oever van 15.5 m, in de verruimde variant een marge van 15.9 m en in de verbrede variant een marge van 20.8 m.

Gemiddeld over alle bochten hanteert het geladen schip in de huidige situatie een marge tot de oever van 14.9 m, in de verruimde variant een marge van 14.7 m en in de verbrede variant een marge van 18.4 m. Opvallend is hier dat in de verruimde variant het geladen schip de binnenbocht scherper aansnijdt om meer ruimte te geven aan het ongeladen schip. De marge neemt daardoor af.

De onderlinge marge gemiddeld over alle bochten is in de huidige situatie 7.6 m, in de verruimde variant 8.2 m en in de verbrede variant 9.6 m.

De 10 m verbreding van de vaarweg wordt gebruikt om de marge van het lege schip tot de oever te vergroten met gemiddeld 4.9 m, de marge van het geladen schip tot de oever met gemiddeld 3.7 m en in veel mindere mate de onderlinge marge met gemiddeld 1.4 m.

In vergelijking met IJsselschippers realiseren niet-IJsselschippers een grotere padbreedte (respectievelijk 22.7 m en 23.9 m) en een kleinere marge tot de oever (respectievelijk 19.8 m en 16.6 m). Dit komt onder andere doordat IJsselschippers vaker de boegschroef inzetten tijdens de ontmoeting.

Algemene conclusies

Ongeladen schip

In de krappe buitenbochten kan de schipper van het ongeladen schip de baan tijdens de ontmoeting nauwelijks strekken om de padbreedte te verminderen omdat hij anders na de ontmoeting te snel in de wal zou lopen. In een aantal individuele vaarten heeft dit in de huidige situatie geleid tot onacceptabele situaties. In de verruimde variant is dit door het wegbaggeren van de ondieptes in de binnenbochten iets verbeterd, maar blijft de situatie krap. In de verbrede variant geeft het geen aanleiding tot problemen.

In alle varianten gaat het ongeladen schip over het algemeen (te) laat naar de buitenbocht waardoor tijdens en vooral na de ontmoeting een grote giersnelheid en dito padbreedte nodig is om weer naar het midden van het vaarwater te komen.

Geladen schip

In de binnenbochten kan de schipper van het geladen schip in de verruimde en verbrede variant de baan tijdens de ontmoeting tijdelijk goed strekken om de padbreedte te verminderen. Voor en na de ontmoeting heeft hij over het algemeen voldoende ruimte om dit te compenseren.

Boegschroefgebruik

Het gebruik van een boegschroef van het lege schip heeft in een aantal individuele vaarten, vooral in de krappe bochten, geleid tot een aanzienlijke verkleining van de padbreedte. Uit de algemene resultaten is dit echter niet af te leiden omdat de spreiding over de vaarten dit effect versluiert.

Omdat qua tijd en financiën geen grote ontwikkelingen mogelijk waren, is bij aanvang van het project besloten dat de simulaties uitgevoerd zouden worden met bestaande modellen. Als gevolg hiervan had het in de simulator gebruikte model van het ongeladen Klasse Va schip een vrij grote diepgang van 1.42 m. Hierdoor is de padbreedte in bochten en t.g.v. dwarswind kleiner dan de padbreedte van een echt leeg schip in de praktijk. Deze constatering is door de schippers tijdens het simulatorexperiment bevestigd. De schippers vonden dat het gesimuleerde schip bij het varen van bochten minder drift (dus minder padbreedte) had dan ze gewend waren van een leeg schip in de praktijk. Dit verschil tussen simulator en praktijk heeft bij de schippers, volgens hun eigen mening, niet tot een onrealistisch gevoel geleid. Ze beschouwden het schip als gedeeltelijk geladen met de daarbij behorende realistische manoeuvreereigenschappen.

Voor een echt leeg schip zal het gebruik van een boegschroef essentieel zijn in krappe bochten en/of met meer wind.

Aanbevelingen

De schippers gebruiken logischer wijze de oevercontouren om hun positie in de rivier te schatten. Het is daarom aan te bevelen om de bodemcontouren evenwijdig aan deze oevercontouren te laten lopen, zodat de schippers niet verrast worden door ondiepten die de rivier in steken. Dit heeft in de bochten ook het voordeel dat de giersnelheid constant gehouden kan worden en daarmee drift en padbreedte zo laag mogelijk zijn.

Om meer zekerheid te krijgen over de padbreedte van lege schepen in de praktijk met en zonder boegschroefgebruik, zullen er betrouwbare mathematische modellen van deze schepen moeten worden ontwikkeld.

Zolang deze modellen ontbreken, zullen ware grootte proeven moeten worden uitgevoerd om een schatting van de padbreedte van lege schepen te kunnen maken.

Hoewel training van binnenvaartschippers voor specifieke manoeuvreersituaties niet snel zal gebeuren is het wel aan te bevelen om voor de bochten in de IJssel een optimale vaarstrategie te ontwikkelen en de kennis daarover op de schippers over te brengen.

1 INLEIDING

In de 'Verkenning IJssel' [7] is geconstateerd dat de problemen voor de scheepvaart op de IJssel voornamelijk het bochtige en smalle verloop van de rivier betreffen. Dit manifesteert zich vooral in breedteproblemen in de bochten en op de rechte gedeelten, o.a. veroorzaakt door ondieptes. Hierdoor moeten de schepen geregeld met beperkte lading varen en is de IJssel een moeilijk bevaarbare rivier. Vooral dit laatste komt de veiligheid niet ten goede. Geconcludeerd is dan ook dat, hoewel de IJssel een vaarweg is Klasse Va, de breedte op veel gedeelten niet aan de normen van een Klasse IV vaarweg voldoet. Dit speelt vooral op de smalle en bochtige Boven-IJssel.

Naar aanleiding van de conclusies en aanbevelingen in de 'Verkenning IJssel' [7] heeft de Minister van Verkeer en Waterstaat in 2001 besloten om een Planstudie IJssel te starten naar de aanpak van de scheepvaartknelpunten op de Boven-IJssel. De planstudie beoogt de situatie voor de scheepvaart te verbeteren door in de knelpunten de geul te verruimen, omdat uit de verkenning is gebleken dat daarvoor ook mogelijkheden zijn. Tegelijkertijd is geconstateerd dat ondanks verruiming van de vaargeul de grotere schepen zullen moeten varen met kleine marges. Dit speelt al bij het grote schip dat alleen vaart, maar zeker in ontmoetingssituaties. Een extra complicerende factor op de IJssel is de aanwezigheid van recreatievaart in de zomermaanden, waarbij naar schatting de helft van het aantal schepen op de vaarweg recreatievaartuigen zijn.

Gegeven de bovenstaande constatering wordt het van belang te weten welke marges schippers minimaal aanhouden om een veilige en vlotte vaart te realiseren. Het betreft dan de marges tussen beroepsvaart onderling, maar ook de marges tussen beroepsvaart en recreatievaart. De som van deze marges opgeteld bij de benodigde vaarstrookbreedten in een verkeerssituatie geeft de minimale geulbreedte voor een veilige en vlotte afwikkeling zoals ervaren door de schippers.

Op basis van de bovenstaande probleemstelling heeft Directoraat-Generaal Rijkswaterstaat, Directie Oost Nederland middels de overeenkomst nr. ON-1326 aan MARIN/MSCN opdracht gegeven om in samenwerking met TNO-TM een onderzoek uit te voeren, getiteld: 'Planstudie Boven-IJssel; Omgaan met kleine marges, een simulatorstudie'. Het onderzoek is gebaseerd op een simulatorstudie, gecombineerd met werklasmetingen. Het hoofddoel van het onderzoek is:

"Het vaststellen van de kleinst mogelijke marges bij de ontmoeting van twee schepen in situaties die voor de IJssel typisch en maatgevend zijn".

Binnen het kader zoals hierboven geschetst kent het onderzoek twee hoofdaspecten:

- Op basis van simulatieresultaten beoordelen van de effecten van mogelijke verruiming van de geul ter plaatse van bestaande knelpunten met betrekking tot ontmoetingen van Klasse Va schepen op de IJssel;
- Generaliseren van de resultaten en in algemene zin vaststellen van de kleinst mogelijke marges bij de ontmoeting van twee schepen in voor de IJssel karakteristieke situaties. De geldigheid van de marges beperkt zich hier niet tot de onderzochte knelpunten.

MARIN/MSCN trad op als projectcoördinator, was verantwoordelijk voor het uitvoeren van de simulaties en heeft zich in de analyse met name gericht op het uitwerken van het eerste aspect zoals hierboven genoemd. De inbreng van TNO-TM richtte zich op de te volgen onderzoeksmethode met betrekking tot werklastmetingen en heeft zich in de analyse met name gericht op het uitwerken van het tweede aspect. De resultaten van het deelonderzoek zoals uitgevoerd door TNO-TM staan beschreven in het rapport: 'Varen met kleine marges op de IJssel, een simulatorstudie' [11].

Deze rapportage beschrijft in hoofdstuk 4 en 5 de definitie en opzet van het simulatorexperiment. In hoofdstuk 6 volgen de resultaten met betrekking tot de effecten van mogelijke verruiming van de geul ter plaatse van bestaande knelpunten. In hoofdstuk 7 van de rapportage worden de integrale resultaten van beide instituten samengevat en uitgewerkt tot kleinst mogelijke marges.

Voorafgaand volgen eerst kort een beschrijving van het doel van het onderzoek en de verschillende onderscheiden projectfasen (hoofdstuk 2 en 3). Het rapport wordt tenslotte afgesloten met de conclusies en aanbevelingen (hoofdstuk 8).

2 DOEL VAN HET ONDERZOEK

Het doel van het onderzoek is vast te stellen hoe groot de marges tussen schepen minimaal moeten zijn in situaties die voor de Boven-IJssel typisch en maatgevend zijn. Hierbij gaat het om het in kaart brengen van de relatie tussen aangehouden marge, mentale belasting en stuurinspanning en de perceptie van veiligheid en vlotheid, waarbij de situaties representatief zijn voor het karakter van de bovenloop van de IJssel van de IJsselkop tot Eefde.

Het onderzoek moet daarbij de mogelijk bieden om:

- Een beoordeling te geven van de effecten van mogelijke verruimingen van de geul ter plaatse van een aantal bestaande knelpunten ten aanzien van ontmoetingen van Klasse Va schepen op de IJssel;
- In algemenere zin (toepasbaar op andere schepen, andere bochtstraal, andere geulbreedte en ander verkeer) de kleinst mogelijke marges bij de ontmoeting van twee schepen in voor de IJssel karakteristieke situaties vast te stellen;
- De verschillen in vaargedrag te beoordelen tussen z.g. IJsselschippers van Klasse Va schepen en schippers van Klasse Va schepen die niet de specifieke plaatselijke bekendheid en ervaring hebben;
- De inspanning en werklast te bepalen voor het varen van de twee groepen schippers in de aangeboden (krappe) vaarscenario's.

3 PROJECTFASEN

Op hoofdlijnen is voor de uitvoering van het onderzoek de volgende aanpak gevolgd:

- Fase 1: Definitie van de te onderzoeken knelpunten en vaststellen van de te modelleren omgeving en maatgevende schepen;
Ontwerp van het experiment voor het meten van de werkbelasting van de schippers (het werklust experiment) ;
Voorbereiding van de simulator;
- Fase 2: Voorontwerp en opzet van de te onderzoeken scenario's;
- Fase 3: Uitvoering van het simulatorexperiment;
- Fase 4: Analyse en rapportage.

Omdat in het vervolg van de rapportage dezelfde indeling gehanteerd wordt, worden de fasen in de volgende alinea's kort toegelicht.

Fase 1: Definitie van de knelpunten en voorbereidingsfase

Voor zover de details nog niet bij aanvang van het onderzoek bekend waren, zijn in deze fase de details voor de simulatorstudie gedefinieerd en uitgewerkt. De volgende zaken zijn vastgelegd en verder uitgewerkt:

1. De te onderzoeken knelpunten (het traject) en de mate van detail voor het modelleren van de omgeving;
2. De varianten voor de vaarweg die naast de bestaande situatie onderzocht zijn. Het betreft een verruimde variant waarbij bestaande knelpunten verruimd zijn en een verbrede variant waarbij de vaarweg over de gehele lengte verbreed is (nog niet de mate van verbreding, deze is aan de hand van de resultaten van de fast-time simulaties in fase 2 vastgesteld);
3. De wind, stroom en waterstand condities voor de simulaties;
4. De maatgevende schepen en mathematische scheepsmodellen, die ingezet worden voor de simulaties;
5. Het werklust experiment en de bijbehorende werklust-scenario's [11].

Een goede afronding van dit deel van fase 1 was van essentieel belang zodat er overeenstemming bestond over de basisgegevens voor de vervolg fasen. Deze fase is gerapporteerd in 'Vooronderzoek Planstudie Boven-IJssel, Rapport Nr. 17042.600/1 FASE 1' [1].

De voorbereiding van de simulator bestond vervolgens uit:

- Bouw van het buitenbeeld (en het daar uit af te leiden radarbeeld) van de gedefinieerde knelpunten en van de twee varianten (één verruiming van de vaargeul en een verbredingsvariant van de rivier);
- Modelleren en invoer van een realistisch diepteveld;
- Modelleren en invoer van een realistisch windveld;
- Modelleren en invoer van een realistisch stroomveld;
- Invoer van mathematische manoeuvreermodellen;
- Voorbereiden van het werklust experiment;
- Deeltesten van de diverse onderdelen.

De voorbereiding is deels parallel aan fase 2 uitgevoerd en is afgesloten nadat in fase 2 de integrale testen waren uitgevoerd.

Fase 2: Voorontwerp, analyse en opzet van de simulaties

In deze fase zijn fast-time simulaties uitgevoerd met verschillende scheepstypen in geschematiseerde bochten met verschillende bochtstralen. Doel was om een schatting van de vaarbaanbreedte te kunnen maken van de verschillende scheepstypen bij verschillende bochtstralen en vaarstrategieën. Dit onderdeel bestond uit:

- Het voorbereiden van de te varen scenario's (combinaties van bochtstraal, stroomveld, schip en vaarsnelheid);
- Uitvoering van de fast-time simulaties;
- Analyse van de vaarbaanbreedtes.

Op basis van de resultaten van de fast-time simulaties heeft ontwerp en implementatie van de real-time scenario's plaats gevonden. Dit proces bestond uit de volgende delen:

- Aan de hand van de schatting van de diverse vaarbaanbreedtes werden realistische vaarscenario's opgesteld voor de bestaande situatie, voor een verruimde geul en voor een breedtevariant met een daadwerkelijk verbrede vaargeul;
- De werklust experimenten werden aan de vaarscenario's gekoppeld en op basis daarvan is het definitieve ontwerp van het simulatorexperiment vastgesteld;
- De definitieve scenario's zijn integraal getest.

Deze fase is gerapporteerd in 'Voorontwerp Planstudie Boven-IJssel, Rapport Nr. 17042.600/1 FASE 2' [10].

Fase 3: Het simulatorexperiment

Er werden gedurende één week (vijf werkdagen) simulatorvaarten uitgevoerd waarin de werklustexperimenten waren opgenomen. Het aantal uit te voeren vaarten en de vaartduur (lengte vaarttraject en vaarsnelheid) bepaalden de uiteindelijke simulatortijd. Om betrouwbare resultaten uit het experiment te verkrijgen is uitgegaan van 15 schippers (5 IJsselschippers en 10 niet IJsselschippers) die ieder 7 vaarten maken. Samen met twee gewenningsvaarten resulteerde dit in 10 à 12 vaaruren per dag.

In 'Voorontwerp simulaties Planstudie Boven-IJssel, Rapport Nr. 17042.600/1 FASE 3' [13] zijn de plots van de simulatorvaarten gegeven.

Fase 4: Analyse en rapportage

In deze fase is een analyse gemaakt van de prestatieparameters, zoals de gerealiseerde marges, de vaarsnelheid en het boegschroefgebruik. Daarnaast zijn de werklustmetingen geanalyseerd [11]. Uit de resultaten zijn de effecten op het vaargedrag bepaald van de diverse parameters, waaronder:

- De breedte en bochtstraal van de vaarweg;
- Afhandeling van een ontmoeting (strategie);
- Het oplopen van recreatievaart;
- De bekendheid van de schipper met het vaarwater (IJssel).

De volgende hoofdstukken beschrijven volgens dezelfde indeling de resultaten van de fasen 1 t/m 4.

4 DEFINITIE EN VOORBEREIDING

4.1 Definitie

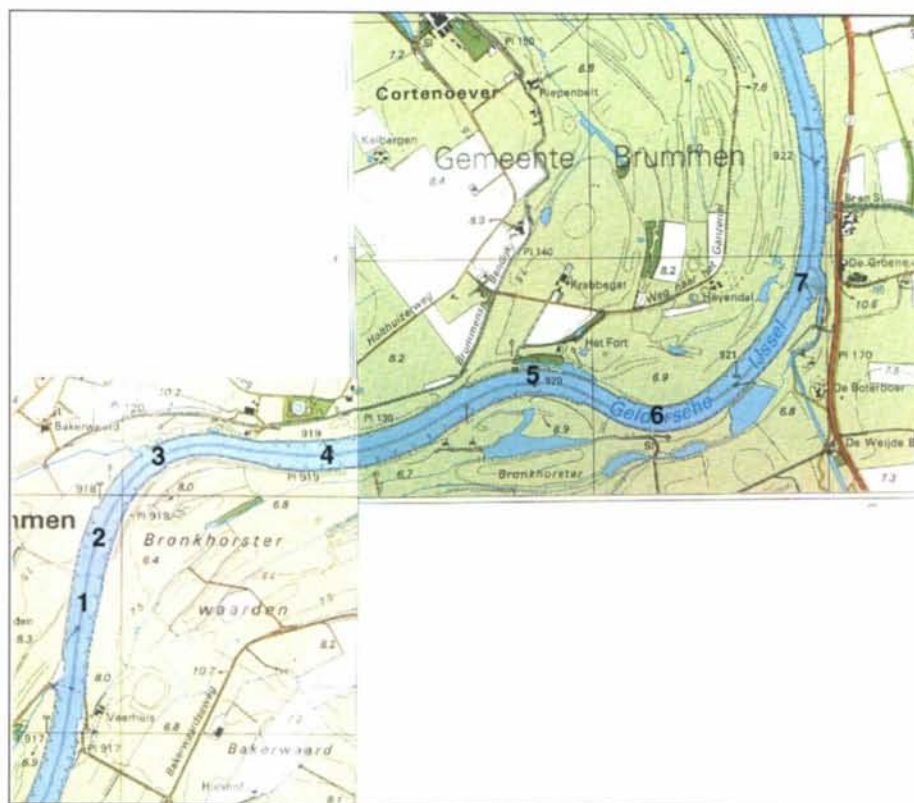
Dit deel van de rapportage beschrijft de definitie fase en de algemene basisgegevens zoals deze verzameld zijn voor de fast-time simulaties en voor het real-time simulatoronderzoek. Deze fase is eerder gerapporteerd in 'Vooronderzoek Planstudie Boven-IJssel, Rapport Nr. 17042.600/1 FASE 1' [1].

In de definitie fase zijn de onderwerpen zoals die bij aanvang van het onderzoek beschikbaar waren beoordeeld en waar nodig aangepast en uitgedetailleerd naar aanleiding van de zaken zoals besproken tijdens de kick-off meeting met de klant (zie [2]) en later aangeleverde gegevens. In deze fase zijn tevens de benodigde invoergegevens nader vastgelegd. De definitieve invoergegevens worden hieronder beschreven. De detailgegevens en plots worden in de bijlagen gegeven.

4.2 Te onderzoeken traject

Het traject voor de real-time simulaties wordt gebaseerd op de **bestaande** IJsselgeul tussen km raai 917 en 922 (zie figuur 4.1). De exacte lengte en configuratie van het traject zijn o.a gebaseerd op de deelstudie IJsselgebruiken [12] en zijn mede vastgesteld op grond van efficiënt gebruik van de simulator. De bochtstralen zijn conform de werkelijke situatie, oever en bodem hebben het karakter van de rivier ter plaatse, evenals de vorm en diepte van de kribvakken. Om de resultaten van de simulaties niet te laten beïnvloeden door enig achterstallig baggerwerk in de bestaande situatie, zijn in het bodemveld voor de bestaande situatie een aantal kleine ondieptes 'opgeschoond' tot een diepte van OLR¹ min 1.9 m (zie figuur 4.2a en figuur 4.2b).

¹ OLR is 'Overeengekomen Laagste Rivierafvoer'



Figuur 4.1 Topografische kaart van het gemodelleerde traject

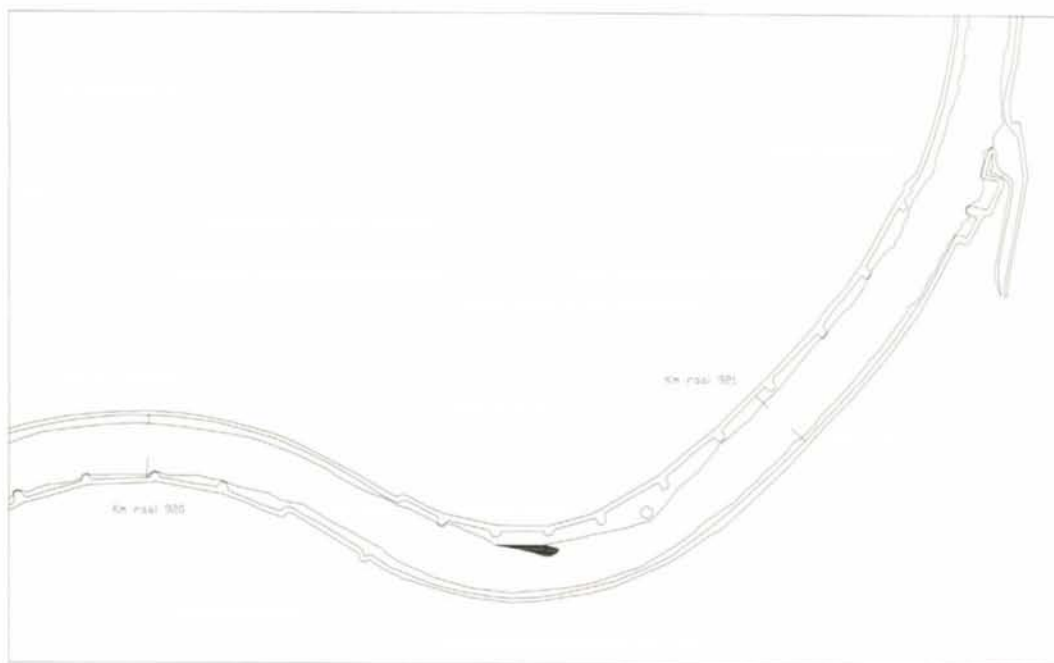
Dit traject is gekozen omdat dit deel van de rivier een aantal bestaande knelpunten bevat waardoor de resultaten direct bruikbaar zijn voor de beoordeling van de actuele situatie. Daarnaast bezat dit traject een aantal bochten met bijbehorende bochtstralen die in eventueel verruimde of verbrede versie ook elders op de IJssel zouden kunnen voorkomen. De resultaten van de vaarten in de verruimde of verbrede versie zijn dan ook meer generiek bruikbaar voor andere delen van de rivier.

Om effecten van verruiming van de bestaande knelpunten in kaart te brengen is er voor gekozen om in de eerste variant alleen de ondieptes in de binnenbochten weg te halen en de rivier een egale bodemligging te geven (de **verruimde variant**). Het gevolg is alleen verbreding van de rivier in de knelpunten.

Om ook de effecten van een verbreding van de hele vaarweg in beeld te brengen en de resultaten toepasbaar te maken voor andere locaties is als tweede variant de verruimde variant met 10 m verbreed t.o.v. de vaarwegas (de **verbrede variant**). De bochtstralen blijven dus gelijk aan de bestaande situatie.



Figuur 4.2a Uitgevoerde "onderhoudsbaggerwerk" in de bestaande situatie, km raai 918



Figuur 4.2b Uitgevoerde "onderhoudsbaggerwerk" in de bestaande situatie, km raai 920.6

De **verruimde variant** (zie figuur 4.3a en figuur 4.3b) is dus ontstaan door de ondieptes in de binnenbochten weg te baggeren en de rivier een egale bodemligging van OLR min 2.5 m te geven (zie ook paragraaf 4.4 voor de waterstand tijdens de simulaties) met een

talud van 1:2,5 of plaatselijk steiler indien dit in de bestaande situatie ook al voorkwam. Bij deze verruimde dwarsdoorsnede is de bevaarbare breedte ter hoogte van de bestaande ondieptes met 5 tot 8 meter toegenomen. De oppervlakte van de doorsnede is vooralsnog niet toegenomen zodat de stroomsnelheid niet zal veranderen.



Figuur 4.3a Uitgevoerde baggerwerkzaamheden voor de verruimde variant, km raai 918



Figuur 4.3b Uitgevoerde "baggerwerkzaamheden" voor de verruimde variant, km raai 920, 921

De **verbrede variant** is, zoals beschreven, ontwikkeld door de verruimde variant een egale bodemligging van OLR min 2.5 m te geven met een talud van 1:2.5 en met 10 m te verbreden t.o.v. de vaarwegas (de mate van verbreding is aan de hand van de resultaten van de fast-time simulaties vastgesteld, zie hoofdstuk 5). Bij de verbrede variant blijven de bochtstralen gelijk aan de bestaande situatie.

4.3 Wind

De wind is niet bedoeld als onderzoeksvariabele. De windkracht 3 á 4 Bft met grenslaag afhankelijke vlagderigheid, zoals ingesteld voor de real-time simulaties is alleen bedoeld om het realiteitsgehalte te verhogen. Situaties geheel zonder wind komen n.l. in de praktijk weinig voor.

4.4 Waterstand en bodemligging

4.4.1 Bestaande situatie

Waterstand

Voor de waterstand tijdens de simulaties is, in overleg met de opdrachtgever, gekozen voor een MGD² van 2.80 m bij km raai 884. De schepen kunnen km raai 884 passeren met een diepgang van 2.80 m omdat de MGD in de binnenbocht wordt gemeten en er in de buitenbocht dan nog voldoende water staat.

Bij de waterstand van MGD van 2.80 m bij km raai 884 kan een schip met een aflaaddiepte van 2.80 m het gekozen traject (km raai 917 en 922) nog goed bevaren maar wordt de bevaarbare breedte al wel beperkt door de ondiepten in sommige binnenbochten. De in de onderzoeksvraag gedefinieerde waterstand MGD 3.36 m zou tot een grotere bevaarbare breedte leiden waardoor het onderzoeken van de ontmoetingen van twee Klasse Va schepen in de bochten minder maatgevend zou zijn geworden.

Diepteveld, botscontouren en oeverzuiging

Door de opdrachtgever is voor het traject km raai 917 tot km raai 922 het actuele bodemveld [3] t.o.v. OLR digitaal aangeleverd met een resolutie van 5 x 5 meter (zie ook bijlage A). Voor dit traject wordt de actuele vaardiepte bij een MGD van 2.80 m bereikt door bij de OLR-diepte 0.90 m op te tellen. Dit is het verschil tussen de waterstand die hoort bij een afvoer van 162 m³/s (OLR) en de waterstand die hoort bij een afvoer van 240 m³/s (MGD 2.80 m). De waarde van 240 m³/s wordt 62 dagen per jaar overschreden [4]. Het op deze wijze ontstane diepteveld van de bestaande situatie wordt gebruikt om de onderwater geometrie zodanig vast te leggen dat de schepen botsen als zij buiten de vaargeul komen en vastlopen tegen de actuele taluds in de rivier. De **vaargeulbegrenzing**, die in dit onderzoek is gebruikt, komt neer op de begrenzing van de bodembreedte op een diepte van 2.80 m met de bovenbeschreven waterstand.

² MGD is 'Minst Gepeilde Diepte'

Uit het verloop van diepte langs de oever zijn tevens de z.g. oeverzuigingslijnen afgeleid. Deze lijnen worden gebruikt om de plaats- en snelheidsafhankelijke oeverzuigingskrachten en -momenten op het schip te berekenen.

Voor de manoeuvreereigenschappen van de schepen heeft de bodemdiepte in de simulator geen invloed omdat de manoeuvreermodellen slechts voor een vaste waterdiepte gelden (zie ook 4.6: Modelleren van de maatgevende scheepsmodellen).

Voor de gebieden van km raai 915 tot km raai 917 en km raai 922 tot km raai 925 zijn geen detail dieptegegevens ingevoerd omdat deze gebieden slechts gebruikt worden als aanloop en uitloop van het geladen schip. Er is een vereenvoudigd diepteveld ingevoerd met een constante diepte van 3.50 m (OLR – 2.60 m) en een talud van 1:2.5³. Hieruit zijn tevens de botscontouren en oeverzuigingslijnen bepaald.

Walcontouren

Voor de bestaande situatie is de walcontour voor MGD 2.80 m bepaald uit door de opdrachtgever digitaal geleverde AutoCAD tekeningen van het gebied (km raai 915 tot km raai 925). De oeverlijn in de AutoCAD tekeningen was bepaald bij een hogere waterstand dan genoemde OLR +0.90 m. Door de relatie tussen hoogte boven NAP en OLR voor het betreffende traject te gebruiken is de oeverlijn op de juiste hoogte gelegd en tevens in horizontale richting evenredig (talud 1:2.5) naar het midden van de rivier verschoven. Hiermee is de, in dit onderzoek gebruikte, **oeverbegrenzing** vastgelegd.

4.4.2 Verruimde variant

Waterstand

De waterstand in de verruimde variant is gelijk aan de waterstand die gebruikt is voor de bestaande situatie.

Diepteveld, botscontouren en oeverzuiging

Voor de verruimde variant is een egale bodem met vaardiepte van 3.40 m ingevoerd. Hierbij heeft een schip met een aflaaddiepte van 2.80 m een kielspeling van 20% dat als minimum wordt beschouwd voor de manoeuvreerbaarheid van het schip. Het zo ontstane diepteveld van de verruimde variant wordt gebruikt om de onderwater geometrie zodanig vast te leggen dat de schepen botsen als zij buiten de verruimde vaargeul komen en vastlopen tegen de verruimde taluds in de rivier.

Uit het verloop van diepte langs de oever zijn tevens de z.g. oeverzuigingslijnen afgeleid. Door de verruiming die ontstaan is door plaatselijke verdieping liggen de oeverzuigingslijnen plaatselijk verder van de vaarwegas waardoor er minder zuiging zal ontstaan.

Walcontouren

De walcontour in de verruimde variant is gelijk aan de walcontour die gebruikt is voor de bestaande situatie.

³ Het talud is afgeleid uit het aangeleverde bodemveld en is gebruikt voor een vereenvoudigde schematisatie in de aanloopgebieden en bij het bepalen van correcte walcontourlijnen

4.4.3 *Verbrede variant*

Waterstand

De waterstand in de verbrede variant is gelijk aan de waterstand die gebruikt is voor de bestaande situatie.

Diepteveld, botscontouren en oeverzuiging

Voor de verbrede variant wordt ook een egale bodem met vaardiepte van 3.40 m ingevoerd. De verbreding van de vaarweg wordt vastgesteld aan de hand van de resultaten van de fast-time simulaties. Botscontouren en oeverzuigingslijnen volgen dan uit het ontwikkelde bodemveld.

Walcontouren

De walcontour in de verbrede variant is gelijk aan een walcontour van de bestaande situatie met dien verstande dat de beide oevers t.o.v. de vaarwegas naar buiten zijn geschoven.

4.5 **Stroom condities**

Het stroombeeld, inclusief de effecten van spiraalstroom en dwarsverhang, heeft veel invloed op de vaareigenschappen van de schepen. Het is daarom van groot belang dat er veel aandacht aan het stroombeeld wordt geschonken. Er is door de opdrachtgever een twee dimensionaal stroombeeld met stroomvectoren evenwijdig aan de rivieras aangeleverd [5]. Tevens is een formulering van de dwarsstroomcomponent (V_c) ten gevolge van de spiraalstroom als functie van de diepte aangeleverd. Deze dwarsstroomcomponent is kwadratisch gemiddeld over de diepgang van het schip om te komen tot een equivalente dwarsstroom op het schip in de bocht.

Voor het effect van het dwarsverhang is momentaan een extra kracht op het in de bocht varende schip gedefinieerd. Deze kracht hangt af van de bochtstraal, de stroomsnelheid en de massa van het schip [6].

4.5.1 *Stroom in de bestaande situatie*

Bij de bovengenoemde MGD van 2.80 m hoort een afvoer van 240 m³/sec. Voor deze afvoer zijn door de opdrachtgever resultaten van stroomberekeningen aangeleverd. Met de plaatsafhankelijke resultaten van de stroomberekeningen is voor het gehele traject van km raai 915 tot km raai 925 een stroomveld ingevoerd (zie bijlage B). Omdat de fast-time simulaties zijn uitgevoerd voordat dit stroomveld beschikbaar was, zijn de fast-time simulaties uitgevoerd met een gemiddelde stroomsnelheid van 0.80 m/s (zie [7]).

4.5.2 *Stroom in de verruimde variant*

Voor de verruimde variant is de gemiddelde rivierdoorsnede op dit traject ongeveer gelijk aan de bestaande situatie. Hierdoor zal de afvoer niet veranderen en de stroomsnelheid ook gelijk blijven. De stroomsnelheidsverdeling over de dwarsraaien zal bij een egale bodem wel anders zijn dan bij een diepere buitenbocht en een ondiepe binnenbocht. Het effect hiervan was echter in de bestaande situatie niet te onderkennen. Om deze reden is voor de verruimde variant hetzelfde stroompatroon gebruikt als voor de bestaande situatie.

4.5.3 *Stroom in de verbrede variant*

Voor de verbrede variant is de stroomsnelheid aangepast aan de grotere dwarsdoorsnede. De totale afvoer verandert door de plaatselijke verbreding niet en de stroomsnelheid zal daarom evenredig afnemen. Het stroompatroon is gemaakt door de stroomvectoren voor de bestaande situatie op de dwarsraaien evenredig met de verbreding uit elkaar te schuiven zodat de verdeling van de stroomsnelheid over de breedte van de rivier gelijk blijft.

4.6 Modellerings van de maatgevende schepen

Voor de manoeuvreermodellen van de maatgevende schepen is uitgegaan van de bestaande geladen en ongeladen⁴ Klasse IV modellen welke eigendom zijn van AVV. Deze modellen gelden voor een kielspeling van 30%. In deze studie moeten er echter vooral Klasse Va schepen van 110 m lengte worden gebruikt. Aangezien er alleen modellen van 94 m lengte (geschaald uit de eerder genoemde Klasse IV schepen) beschikbaar zijn, is nogmaals een soortgelijke schaling toegepast om te komen tot een Klasse Va schip welke dan de volgende afmetingen heeft:

Lengte over alles	108.34 m
Lengte tussen loodlijnen	104.76 m
Breedte na schaling (zie beschrijving hierna)	13.25 m
Diepgang geladen/ongeladen na schaling (zie beschrijving hierna)	3.79/1.42 m

De grote diepgang en de te grote breedte ontstaan door de geometrische opschaling van het model van het Klasse IV schip naar de lengte van een Klasse Va schip. Voor de breedte is vrij eenvoudig een correctie uit te voeren welke weinig invloed heeft op de hydrodynamische eigenschappen van de romp. De breedte is teruggebracht van 13.25 m naar 11.40 m waarbij de massa is gereduceerd met 14%. De diepgang kan niet zondermeer aangepast worden omdat de lengte/diepgangsverhouding (aspectverhouding van de romp) wel grote invloed heeft op de hydrodynamische eigenschappen en dus op de manoeuvreereigenschappen van het schip.

Omdat binnen dit onderzoek uitsluitend gebruik gemaakt wordt van bestaande kennis en modellen is er daarom geen model beschikbaar met een diepgang van 2.80 m. In overleg met de opdrachtgever is besloten dat het geladen Klasse Va schip zal worden gesimuleerd door het bovenbeschreven geschaalde model met een diepgang van 3.79 m. De verwachting is namelijk dat het manoeuvreergedrag van het model van een Klasse Va schip met een diepgang van 3.79 m en een kielspeling van 30% het gedrag van een actueel schip met een diepgang van 2.80 m en varende met een kielspeling van 20% voldoende benaderd voor de situatie op de IJssel in de opvaart. De fysieke diepgang van het model in de simulator is wel 2.80 m waarmee het bodemveld en de stroom gelijk kunnen blijven aan de in paragraaf 4.4 en 4.5 beschreven situatie.

De diepgang van het ongeladen schip is door de opschaling van het bestaande model van het ongeladen Klasse IV schip ook aan de grote kant waardoor de drifthoek en dus

⁴ Waar in dit rapport wordt gesproken over een ongeladen Klasse Va schip wordt het gebruikte model met een gemiddelde diepgang van 1,42 m bedoeld en niet een echt leeg schip met een gemiddelde diepgang van b.v. 0,70 m.

padbreedte in bochten en bij dwarswind aan de kleine kant zal zijn. Een ongeladen versie van een modern Klasse Va schip zal over het algemeen slechts een gemiddelde diepgang van 0.70 m hebben. Aan de hand van recente ware grootte metingen aan ongeladen Klasse Va schepen wordt later in het rapport (paragraaf 6.3) een schatting gemaakt van de invloed van de diepgang op de padbreedte in bochten en de invloed daarvan op de resultaten van het onderzoek.

Voor beide modellen is een boegschroef van 295 kW ingebouwd. De eigenschappen van de boegschroef (o.a. snelheidsafhankelijke kracht) zijn overgenomen uit de bestaande literatuur aangaande zeescheepvaart. De eigenschappen van het model kunnen worden vergeleken met een boegschroef van het type met een dwars in de boeg geplaatste straalbuis. De kracht, die deze boegschroef bij stilliggend schip opbrengt, is 39.2 kN. Voor binnenvaartschepen waren ten tijde van de modelvorming nog geen betrouwbare resultaten voor gangbare boegschroeftypen beschikbaar die een betere modellering en goede validatie mogelijk maken. Wel geven recente metingen bij de VBD [8] aan bepaalde boegschroeftypen aan dat de maximale kracht bij stilliggend schip voor een boegschroef van het type met 4 kanalen en bovengenoemd vermogen, maximaal 27.4 kN bedraagt. De opbrengst van 39.2 kN is dus aan de hoge kant. In paragraaf 6.3 wordt daarom een analyse gedaan van de invloed van deze gebruikte modellering op de resultaten van de studie.

De gegevens van de schepen zijn gegeven in Bijlage C. Deze bijlage bevat ook de testresultaten en baanplots van een aantal standaard manoeuvreerproeven.

Om een indruk te krijgen van manoeuvreereigenschappen van de in de simulator gebruikte modellen voor de Klasse Va schepen is voor het geladen schip een vergelijking gemaakt met een aantal ware grootte proeven. De resultaten wijken niet significant af van vergelijkbare geladen Klasse Va schepen. De vergelijking staat in Bijlage H.

Voor een vergelijking van de manoeuvreereigenschappen van het model van het ongeladen schip met ware grootte proeven wordt naar paragraaf 6.3 verwezen.

4.7 Verkeersscenario's

De verkeersscenario's bestaan uit situaties waarbij het afvarende schip in twee bochten in het traject een geladen opvarend schip tegenkomt en in een bocht een pleziervaartuig moet oplopen. Aan de hand van de vaarbaanbreedte zoals die is vastgesteld met de fast-time simulaties (zie hoofdstuk 5), is een schatting gemaakt voor de bochten waar ontmoetingen in principe mogelijk zijn.

4.8 Buitenbeeld en radar image

Het buitenbeeld voor de real-time simulaties is geschematiseerd uit, door de opdrachtgever digitaal opgeleverde AutoCAD tekeningen van de Boven IJssel [9] en stafkaarten van het gebied. Naast de nautische kenmerken (boeien en bakens) zijn attributen in de omgeving zoals markante gebouwen, bomen en struiken aangebracht die karakteristiek zijn voor de omgeving. Hiervoor zijn ter plaatse foto's genomen.

De invulling van het buitenbeeld is o.a. bepaald door de noodzaak tot het verkrijgen van voldoende snelheids- en draaiinformatie gedurende het varen.

Vanuit de database van de driedimensionale omgeving is de radarbeeld, dat op de simulator wordt getoond, gegenereerd. Hierdoor is de afscherming van objecten door de hoge oevers ook op de radar gewaarborgd. De schaalverdeling (range en range-ringen) van het getoonde radarbeeld is in km en de resolutie van het beeld is in overeenstemming met de resolutie van een binnenvaartradar.

Er zijn drie buitenbeeld en radar databases ontwikkeld voor:

1. De bestaande situatie;
2. De bestaande situatie met verruimde (uitgediepte) vaarweg waarbij de boei bij km raai 920,6 is verwijderd;
3. Een verbrede rivier variant;

4.9 Inspectie en testen van de database

Als afronding van de voorbereidingsfase zijn de volgende inspecties en testen van de database uitgevoerd:

Wind

Tijdens de testvaarten op de simulator is de relatieve windsnelheid en -richting t.o.v. het schip gecontroleerd aan de hand van de uitlezing van de windsnelheid- en windrichtingmeters op de beide bruggen. Op de z.g. *Area Manager* bij de simulator instructeur is de sterkte en aardvaste richting van het windveld gecontroleerd.

Waterstand en bodemligging

De diepteplots (zie bijlage A) geven de diepte weer t.o.v. OLR + 0.90 m. Deze diepten zijn ook gecontroleerd met het, door de opdrachtgever aangeleverde diepteveld.

Botscontouren en oeverzuigingslijnen

Het diepteveld wordt gebruikt om de onderwater geometrie zodanig vast te leggen dat de schepen botsen als zij buiten de vaargeul komen en vastlopen tegen de actuele taluds in de rivier. De z.g. botscontouren zijn dus dieptecontouren op de diepgang van de ongeladen en geladen schepen.

De oeverzuigingslijnen zijn dieptecontouren op de halve diepgang van het geladen schip en zijn eveneens afgeleid uit het diepteveld. Deze lijnen zijn gecontroleerd door ze te plotten in het diepteveld (zie bijlage A voor een voorbeeld).

Stroomveld

Het stroomveld voor de bestaande situatie, dat door de opdrachtgever is aangeleverd voor bovengenoemde waterstand, is in bijlage B geplot. De eerste figuur geeft de locaties van de detailplots weer. Voor de verruimde variant zijn geen stroomplots opgenomen omdat er vanuit gegaan is dat de stroom niet wezenlijk veranderd door het uitvoeren van plaatselijk bagger werk. Voor de verbrede zijn ook geen stroomplots opgenomen omdat het stroompatroon hetzelfde is als bij de bestaande situatie; alleen de stroomsnelheid is lager; omgekeerd evenredig met de verruimde dwarsdoorsnede.

Modellering van de schepen

Van de gemodelleerde schepen is een scheepsbeschrijving gemaakt met de scheepsgegevens en de resultaten van een aantal manoeuvreerproeven (zie bijlage C). Deze proeven zijn met een fast-time simulatiemodel uitgevoerd op onbeperkt breed water. Daarnaast is door een vertegenwoordiger van de opdrachtgever met de schepen op de simulator gevaren in de actuele database van de IJssel.

Verkeersscenario's

De verkeersscenario's, zoals beschreven in hoofdstuk 5, zijn getest op de simulator door te controleren of de interactieve en de voorgeprogrammeerde ontmoetingen en de oplooptmanoeuvre van de pleziervaarder op de juiste trajecten optraden. Deze testen zijn uitgevoerd i.s.m. TNO TM om ook de synchronisatie met de neventaak te kunnen waarborgen.

Buitenbeeld en radarpresentatie

Het buitenbeeld is gecontroleerd aan de hand van foto's en een door de opdrachtgever aangeleverde video die op het onderhavige traject was opgenomen. Tevens zijn het buitenbeeld en het radarbeeld gecontroleerd door een vertegenwoordiger van de opdrachtgever, welke ook in werkelijkheid een aantal keren is meegevaaren op dit traject. Daarnaast is er, voorafgaand aan het simulatorexperiment, nog een aantal vaarten op de simulator gemaakt in aanwezigheid van een vertegenwoordiging van de opdrachtgever om een indruk te krijgen van gesimuleerde omgeving en schepen.

De goedkeuring van de database heeft plaatsgevonden in de voortgangsvergadering op 22 november. De bovengenoemde plots en documenten zijn getoond en er is op de simulator gevaren ter controle van het radar- en buitenbeeld.

5 VOORBEREIDING MANOEUVREERSIMULATIES

5.1 Programma fast-time simulaties voorontwerp

De voorbereiding van de manoeuvreersimulaties zijn eerder beschreven in 'Voorontwerp Planstudie Boven-IJssel, Rapport Nr. 17042.600/1 FASE 2' [10].

Om een schatting van de vaarbaanbreedte te verkrijgen voor een geladen en ongeladen Klasse Va schip zijn bij verschillende bochtstralen en vaarstrategieën fast-time simulaties uitgevoerd. De schattingen van de diverse vaarbaanbreedtes zijn een basis voor het opstellen van realistische vaarscenario's voor de bestaande situatie, voor een verruimde geul en voor een breedtevariant met een daadwerkelijk verbrede vaargeul.

Bij het opstellen van het programma zijn de volgende uitgangspunten gehanteerd:

- Voor het opstellen van een programma voor de fast-time vaarbaansimulaties was het noodzakelijk om een inventarisatie van de in de IJssel voorkomende bochten te maken. Uit de Verkenning IJssel [7] viel te concluderen dat de bochtstralen variëren van 400 tot 1200 m. Voor de fast-time scenario's worden daarom vaarten gemaakt in bochten met een straal van 400 m, 600 m, 800 m en 1200 m.
- De fast-time simulaties worden uitgevoerd met hetzelfde ongeladen en geladen model als waarmee de real-time simulaties gemaakt zullen worden (zie paragraaf 4.6).
- De stroom is constant en evenwijdig over het gehele traject en heeft een waarde van 0.8 m/s. Effecten als gevolg van de spiraalstroom worden verwerkt in het stroomveld.
- De vaarten worden bij twee snelheden gemaakt, t.w. 15 km/uur door het water en met 7 km/uur door het water. Bij de lage vaarsnelheid wordt gevaren met en zonder gebruik van boegschroef. Bij de vaarten met boegschroef wordt de boegschroefkracht zodanig ingesteld dat de vaarbaanbreedte minimaal was voor het betreffende schip in die situatie.

Er zijn 48 vaarten uitgevoerd met geladen en ongeladen opvaart en afvaart. De Tabellen 5.1 en 5.2 geven de uitgevoerde vaarten en de resultaten weer.

5.2 Analyse fast-time simulatie resultaten

De analyse van de fast-time simulaties richt zich op de stationaire padbreedte in de bocht en de daarbij gebruikte boegschroefkracht. De Tabellen 5.1 en 5.2 geven de stationaire padbreedte en het gebruikte percentage van de maximaal beschikbare boegschroefkracht. In bijlage D zijn de vaarbaan- en dataplots opgenomen.

Voor het ongeladen schip is de boegschroefkracht, die gebruikt wordt om de minimale padbreedte⁵ te benaderen niet zo groot. Afvarend bij een bochtstraal van 400 m wordt maximaal 30% van de beschikbare statische boegschroefkracht (kracht bij stilliggend schip) gebruikt. Voor het gehanteerde model (zie paragraaf 4.6) is dit een kracht van 11.8 kN. Met een 4 kanalen systeem zou dit volgens de VBD [8] metingen een vermogen van 126 kW vergen. De invloed van de snelheid op de geproduceerde kracht is voor een 4 kanalen systeem niet bekend maar de ervaring van schippers is dat deze systemen ook bij hogere snelheid nog redelijk werken. Dit impliceert dat de benodigde boegschroefkracht makkelijk te leveren zou zijn door een 4 kanalen systeem met een vermogen van 295 kW.

De snelheid, waarmee de vaarten met boegschroef zijn uitgevoerd is 7 km/uur door het water. Bij een boegschroef van het type met een dwarsbuis zou, volgens het in de simulator gebruikte model, bij deze snelheid slechts 12% van de kracht verloren gaan. Ook dit geeft aan dat de, voor de minimale padbreedte benodigde dwarskracht goed te leveren is door een geïnstalleerd boegschroefvermogen van 294 kW.

Het geladen schip in de opvaart gebruikt grotere boegschroefkrachten (tot 19.6 kN bij een bochtstraal van 400 m) om de minimale padbreedte te benaderen. Maar ook bij dit schip blijft het benodigde vermogen, betrokken op een 4 kanalen systeem beperkt tot 211 kW. Ook hier is dus nog 30% reserve vermogen over voor de kracht reducerende effecten door de vaarsnelheid (zie ook paragraaf 6.3).

De resultaten van de stationaire padbreedte en toegepaste boegschroefkracht, samen met geschatte marges tussen de schepen en tussen schip en wal (zie paragraaf 5.3), zijn gebruikt om te kunnen beoordelen in welke delen van het traject een ontmoeting zou kunnen plaatsvinden en met welke snelheid en welke boegschroefkracht daarbij nodig zou zijn. Op basis van deze gegevens zijn de scenario's voor de real-time simulaties samengesteld. De verdere uitwerking hiervan staat in het volgende hoofdstuk.

5

De minimale padbreedte is de geometrische breedte die bereikt wordt door zonder drifthoek met een schip van een bepaalde lengte door een bocht met een bepaalde bochtstraal te varen.

Snelheid [km/u]	R = 400 m					
	Afvarend			Opvarend		
	Run Nr.	Padbreedte [m]	Boegschroef [%]	Run Nr.	Padbreedte [m]	Boegschroef [%]
15	10	27.8	-	7	19.0	-
7	11	28.8	-	8	17.2	-
7	12	15.7	30	9	15.5	8
Snelheid [km/u]	R = 600 m					
	Afvarend			Opvarend		
	Run Nr.	Padbreedte [m]	Boegschroef [%]	Run Nr.	Padbreedte [m]	Boegschroef [%]
15	22	22.7	-	19	16.7	-
7	23	23.3	-	20	15.3	-
7	24	14.1	23	21	14.1	5
Snelheid [km/u]	R = 800 m					
	Afvarend			Opvarend		
	Run Nr.	Padbreedte [m]	Boegschroef [%]	Run Nr.	Padbreedte [m]	Boegschroef [%]
15	34	20.1	-	31	15.5	-
7	35	20.5	-	32	14.4	-
7	36	13.5	17	33	13.4	5
Snelheid [km/u]	R = 1200 m					
	Afvarend			Opvarend		
	Run Nr.	Padbreedte [m]	Boegschroef [%]	Run Nr.	Padbreedte [m]	Boegschroef [%]
15	46	17.3	-	43	14.2	-
7	47	17.5	-	44	13.5	-
7	48	13.1	12	45	12.9	5

Tabel 5.1 Padbreedten ongeladen Klasse Va schip in bocht, boegschroef 295 kW, stroomsnelheid 0.8 m/s.

R = 400 m						
Afvarend				Opvarend		
Snelheid [km/u]	Run Nr.	Padbreedte [m]	Boegschroef [%]	Run Nr.	Padbreedte [m]	Boegschroef [%]
15	4	17.8	-	1	17.6	-
7	5	20.4	-	2	17.4	-
7	6	15.1	125 ⁶	3	15.1	50
R = 600 m						
Afvarend				Opvarend		
Snelheid [km/u]	Run Nr.	Padbreedte [m]	Boegschroef [%]	Run Nr.	Padbreedte [m]	Boegschroef [%]
15	16	15.6	-	13	15.8	-
7	17	17.2	-	14	15.7	-
7	18	14.0	75	15	14.0	50
R = 800 m						
Afvarend				Opvarend		
Snelheid [km/u]	Run Nr.	Padbreedte [m]	Boegschroef [%]	Run Nr.	Padbreedte [m]	Boegschroef [%]
15	28	14.5	-	25	14.9	-
7	29	15.6	-	26	14.8	-
7	30	13.5	50	27	13.5	50
R = 1200 m						
Afvarend				Opvarend		
Snelheid [km/u]	Run Nr.	Padbreedte [m]	Boegschroef [%]	Run Nr.	Padbreedte [m]	Boegschroef [%]
15	40	13.4	-	37	14.2	-
7	41	13.9	-	38	14.0	-
7	42	12.9	37	39	12.8	37

Tabel 5.2 Padbreedten geladen Klasse Va schip in bocht, boegschroef 295 kW, stroomsnelheid 0.8 m/s.

5.3 Soorten ontmoetingen en gehanteerde marges

Om vast te kunnen stellen welke ontmoeting mogelijk zou kunnen zijn gezien de fysieke afmetingen van rivier, marges en vaarbaanbreedte zijn de ontmoetingen ingedeeld in soorten, verdeeld naar vaarstrategie:

Doorvaar-strategie: Het schip houdt ongeveer dezelfde snelheid als voor de ontmoeting; de snelheid is ongeveer 13⁷ km/uur door het water.

Manoeuvrer-strategie: Het schip vertraagt en heeft de mogelijkheid om voor de ontmoeting de padbreedte te verkleinen m.b.v. de boegschroef; de snelheid is ongeveer 7 km/uur door het water.

⁶ Waarden boven 100% kunnen ontstaan doordat, bij de fast-time simulaties een sterkere boegschroef was ingebouwd om de grenzen van de benodigde boegschroefkracht te kunnen beoordelen.

⁷ In overleg is deze snelheid lager genomen dan de bij de fast-time simulaties gehanteerde 15 km/uur, omdat men op de IJssel o.h.a. minder snel vaart.

De soorten ontmoetingen worden in tabel 5.3 ingedeeld naar strategie:

Soort ontmoeting	Snelheid Schip 1	Snelheid Schip 2
A	Doorvaren (13 km/u)	Doorvaren (13 km/u)
B	Doorvaren (13 km/u)	Manoeuvreren (7 km/u)
C	Manoeuvreren (7 km/u)	Doorvaren (13 km/u)
D	Manoeuvreren (7 km/u)	Manoeuvreren (7 km/u)

Tabel 5.3 Soorten ontmoetingen

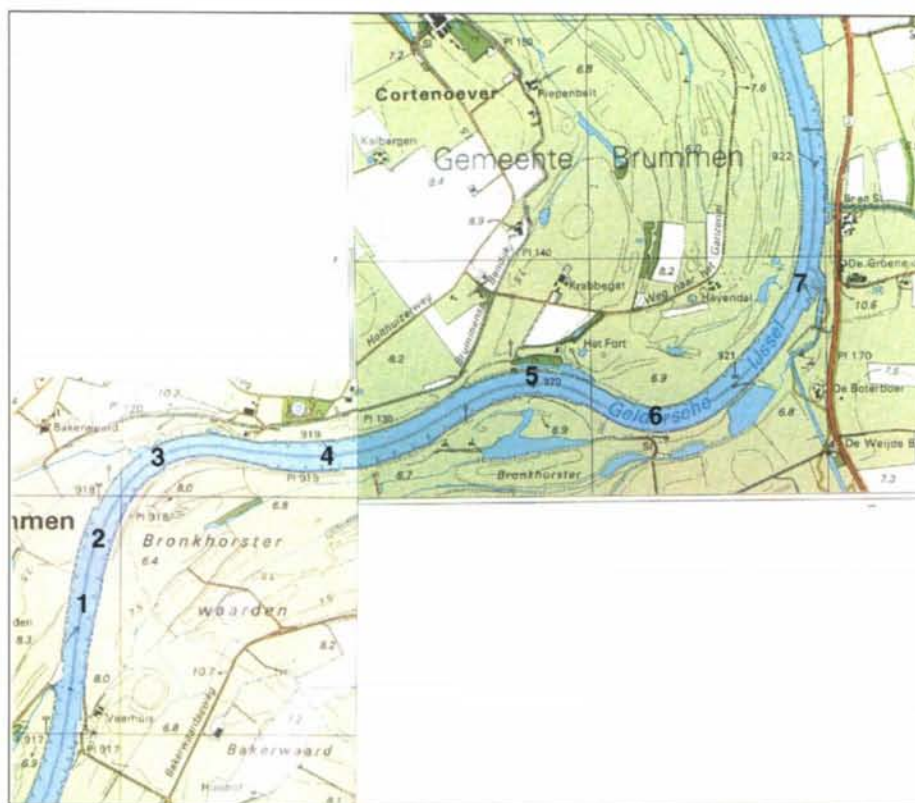
Voor de bovengenoemde ontmoetingen zijn de volgende schattingen voor de marges gehanteerd:

Tussen de schepen:	7.5 m
Tussen 2.8 m dieptelijn buitenbocht en ongeladen schip:	10 m
Tussen ton of 2.8 m dieptelijn binnenbocht en geladen schip:	5 m
Totaal marges:	22.5 m

Samen met de padbreedte resultaten van de fast-time simulaties uit de tabellen 5.1 en 5.2 leiden de marges tot de soort ontmoeting die in principe mogelijk is in een bepaalde vaarwegbreedte (bepaald uit het actuele diepteveld op een diepte van 2.80 m = OLR + 0.9 m). Dit wordt uitgewerkt in de volgende paragraaf.

5.4 Scenario's voor real-time simulaties

Het voor de real-time simulaties gemodelleerde traject bestaat uit een rechtstand en zes bochten (Figuur 5.1). Tabel 5.4 geeft voor dit traject een overzicht van de ontmoetingen die, gezien de geometrie van de bocht en de gemeten padbreedte, in principe mogelijk moeten zijn.



Figuur 5.1 Topografische kaart van het gemodelleerde traject

Deel	Bij km raai	straal	Vaargeulbreedte op 2.80 m bij OLR + 0.9 m	Mogelijke ontmoeting	Totale padbreedte ⁸ Ongeladen schip+geladen schip+marge
1	917.5	recht	65 m	A	$11.4+11.4+22.5= 45.3$
2	917.75	900	65 m	A	$19.4+14.7+22.5= 56.6$
3	918.25	400	55 m	D	$15.7+15.1+22.5= 53.3$
4	919.15	1000	70 m	A	$18.7+14.6+22.5= 55.8$
5	920.0	550	65 m	A	$24.0+16.3+22.5= 62.8$
6	920.6	400	48 m	D	$15.7+15.1+22.5= 53.3$
7	921.5	1000	60 m	A	$18.7+14.6+22.5= 55.8$

Tabel 5.4: Traject met, in principe mogelijke ontmoetingen

In de delen 1, 2, 4, 5 en 7 is in principe een ontmoeting volgens strategie A mogelijk. Voor de rechtstand zijn gemakshalve dezelfde marges gehanteerd als voor het bochtvaren, waarmee we aan de veilige kant zitten. In bocht 3 is nog juist een ontmoeting volgens strategie D mogelijk (langzaam varen met optimaal gebruik van boegschroef). In bocht 6 is eigenlijk naast de ton geen ontmoeting meer mogelijk. Omdat in deze bocht slechts één smal punt zit (verder is de vaarwegbreedte 60 tot 65 m

⁸ De waarden voor de padbreedte zijn afgeleid uit tabel 5.1 en 5.2. Voor tussenliggende bochtstralen zijn de waarden door interpolatie verkregen.

in deze bocht) en omdat in de verruimde variant dit knelpunt niet meer voorkomt, wordt er toch een ontmoeting gepland.

Naast de numerieke waarden (padbreedtes en marges) t.a.v. een mogelijkheid van een ontmoeting zijn de scenario's, aan de hand van praktijkervaring (zie deelstudie IJsselgebruiken [12]), zo opgezet dat er verwacht wordt dat de schippers nog net een ontmoeting aandurven.

In de **verruimde variant** zijn juist de bochten 3 en 6, waar nu geen vlotte ontmoeting (type A) mogelijk is, verruimd. Het verwijderen van de ondieptes in bocht 3 en 6 komt neer op een verruiming van de vaargeul van 5 tot 8 m. Om daarnaast significante effecten van een verbreding te kunnen meten is voor de **verbrede variant** een verbreding van 5 m naar beide zijden van de vaarwegas (totale verbreding 10 m) gekozen.

Om de betrouwbaarheid van de resultaten te vergroten moet het aantal ontmoetingen zo groot mogelijk zijn zonder dat ze elkaar beïnvloeden. Door twee ontmoetingen tussen een ongeladen afvaarder en een geladen opvaarder en het oplopen van een recreatievaarder in één vaart te plannen wordt de vaartijd van de schippers op de simulator optimaal benut.

Tabel 5.5 geeft de gemiddelde bochtstraal en de plaatsen van de geplande ontmoetingen zoals deze in de scenario's opgenomen zijn. Tevens staat in deze tabel aangegeven in welke bocht de recreatievaarder wordt opgelopen.

Bocht	Straal van de bocht [m]	Km raai ontmoeting	Km raai recreatievaarder
2	900		917.75
3	400	918.25	
4	1000	919.15	919.15
5	550	920	
6	400	920.6	
7	1000	921.5	921.5

Tabel 5.5: *Posities van de bochten, de gemiddelde bochtstraal en de plaatsen van de geplande ontmoetingen*

De ontmoetingen zijn afwisselend met een, door een schipper gestuurd schip (interactief) en met een schip dat een voorgeprogrammeerde baan volgt. De recreatievaarder vaart altijd langs een voorgeprogrammeerde baan. De banen van de voorgeprogrammeerde schepen zijn door de proefleider wel aan te passen zodat in geval van een onverwachte situatie gereageerd kan worden.

Uit de resultaten van de fast-time simulaties en de, in de bestaande situatie en verruimde variant, mogelijke ontmoetingen is besloten om de verbrede variant niet meer dan 10 m breder te maken dan de verruimde variant. Er wordt verwacht dat hiermee de marges zodanig worden vergroot dat alle geplande ontmoetingen als een type A ontmoeting mogelijk zijn. Dit zou tevens de vlotheid ten goede komen.

Tabel 5.6 geeft de scenario's in de diverse varianten weer.

Scenario-nummer	Lay-out	Nummer 400m Bocht	Nummer 900m Bocht	Soort ontmoeting 400m bocht	Soort ontmoeting 900m bocht	Nummer bocht recreatie	Neven-taak
10	huidige		7	voorgeprog.			
20	huidige	3		voorgeprog.			
30	huidige	3		voorgeprog.			Ja
40	huidige	3	7	Interactief	voorgeprog.	4	Ja
50	huidige	3	7	voorgeprog.	interactief	4	Ja
60	huidige	6	4	Interactief	voorgeprog.	2	Ja
70	huidige	6	4	voorgeprog.	interactief	2	Ja
80	huidige	5	4	Interactief	voorgeprog.	7	Ja
90	huidige	5	4	voorgeprog.	interactief	7	Ja
41	verruimd	3	7	Interactief	voorgeprog.	4	Ja
51	verruimd	3	7	voorgeprog.	interactief	4	Ja
61	verruimd	6	4	Interactief	voorgeprog.	2	Ja
71	verruimd	6	4	voorgeprog.	interactief	2	Ja
81	verruimd	5	4	Interactief	voorgeprog.	7	Ja
91	verruimd	5	4	voorgeprog.	interactief	7	Ja
42	verbreed	3	7	Interactief	voorgeprog.	4	Ja
52	verbreed	3	7	voorgeprog.	interactief	4	Ja
62	verbreed	6	4	Interactief	voorgeprog.	2	Ja
72	verbreed	6	4	voorgeprog.	interactief	2	Ja
82	verbreed	5	4	Interactief	voorgeprog.	7	Ja
92	verbreed	5	4	voorgeprog.	interactief	7	Ja

Tabel 5.6: Real-time scenario's met de geplande ontmoetingen

Bovenstaande scenario's zijn op de simulator geïmplementeerd op een zodanige wijze dat de ontmoetingen steeds op de geplande posities (in de genoemde bochten) zullen plaatsvinden. Het ongeladen afvarende schip vaart steeds het traject van km raai 917,5 tot km raai 922. De beginpositie van de geladen opvaarder wordt zo gekozen dat beide schepen in de geplande bocht ontmoeten (zie tabel 5.5). De beginpositie en snelheid van de recreatievaarder zijn ook zo gekozen dat de oploopmanoeuvre in de geplande bocht plaats vindt. Hiervoor zijn de snelheden van de schepen (afvaart met stroom mee en opvaart met stroom tegen) in rekening gebracht.

De beide Klasse Va schepen varen met een geplande snelheid van 13 km/uur door het water, waarbij in de simulator een vaste telegraafinstelling hoort. De ongeladen afvaart krijgt hierdoor een snelheid van ongeveer 16 km/uur over de grond (GPS snelheid) en de opvaart een snelheid ongeveer 10 km/uur over de grond.

De scenario's zijn op de simulator getest om de goede werking te garanderen en om de banen van de voorgeprogrammeerde schepen ook in dwarspositie in de rivier te kunnen beoordelen, zodat een realistische ontmoeting kan plaatsvinden.

Voor de neventaken die tijdens de simulatorvaarten worden gestart is er een verbinding gemaakt tussen de simulator en de PC's die deze taken verzorgen, waardoor de neventaken afhankelijk van de posities van beide schepen automatisch worden gestart.

6 HET SIMULATOREXPERIMENT

6.1 Uitvoering van het experiment

6.1.1 Inleiding

Voor een detailbeschrijving van de opzet en de uitvoering van het simulatorexperiment wordt verwezen naar het rapport van TNO-TM [11] en de deelstudie IJsselgebruiken [12]. In 'Voorontwerp simulaties Planstudie Boven-IJssel, Rapport Nr. 17042.600/1 FASE 3' [13] zijn de plots van de ontmoetingen gegeven. In het huidige rapport wordt slechts een globale beschrijving gegeven t.b.v. een beter begrip van de latere analyse, uitgevoerd door MARIN/MSCN. Het simulatorexperiment is uitgevoerd op de gecombineerde manoeuvreersimulatoren van MARIN/MSCN, waarbij de ongeladen afvaart op grote brug (zie paragraaf 6.1.2) voer en de opvaart op de kleine brug. In totaal voeren 15 schippers, waarvan er 5 als IJsselschipper beschouwd konden worden, 135 runs gedurende de 5 dagen van het simulatorexperiment. Omdat er slechts 1 week beschikbaar was op de simulatoren is er per dag 10 uur gevaren om dit grote aantal runs uit te voeren. Gedurende de gehele week was er een vertegenwoordiger van TNO TM als proefleider aanwezig. Een vertegenwoordiger van de opdrachtgever was gedurende de simulaties instructeur en begeleider van het simulatorexperiment. In de loop van de week en de daarop volgende week zijn vertegenwoordigingen van de opdrachtgever op bezoek geweest om een aantal runs van het simulatorexperiment bij te wonen.

6.1.2 Uitrusting van de simulatorbruggen

De grote brug is uitgerust met een buitenbeeld van 360 graden. De achterste sector van 36 graden werd weergegeven op een monitor dicht achter de schipper, zodat hij de positie van het achterschip t.o.v. de wal kon beoordelen. Om de afstand tussen wal en schip en tussen de twee schepen onderling goed te kunnen beoordelen waren op de bovenbrug twee monitoren geplaatst, die aan bakboord en stuurboord een camerabeeld vanaf het stuurhuis langs het schip naar voren gaven. In werkelijkheid hebben de schepen tegenwoordig ook vaak twee camera's of twee spiegels aan het stuurhuis die ook dit beeld naar voren geven. De kleine brug is uitgerust met een buitenbeeld van 200 graden. Ook hier was een achterste sector van 36 graden op een monitor toegevoegd, zodat schipper de positie van het achterschip t.o.v. de wal kon beoordelen.

Beide bruggen waren uitgerust met een bochtautomaat welke met de tiller van het roer werd bediend en met een knop in of uitgeschakeld kon worden. Daarnaast was er op beide bruggen een bediening voor het blauwe bord toegevoegd. De instructeur kon het blauwe bord van het voorgeprogrammeerde schip bedienen. De blauwe borden waren in het buitenbeeld zichtbaar naast het stuurhuis van het tegemoetkomende schip.

Voor het goed schatten van de snelheid en schroefgebruik aan de hand van het motorgeluid, zijn beide bruggen uitgerust met een geluidssysteem. Dit systeem geeft via luidsprekers het toerentalafhankelijke motorgeluid weer. Tevens geeft dit systeem een 'schurend' geluid indien het schip aan de grond loopt of ergens het talud raakt.

6.1.3 Uitvoering van de simulatorruns

Beide simulatoren werden door één instructeur bediend. De taak van de instructeur bestond onder andere uit een instructie voor de schippers vooraf t.a.v. de bediening van telegraaf, boegschroef en roer en het gebruik van de instrumenten op de brug. Tijdens de vaarten bediende de instructeur de simulator (starten en stoppen en bediening blauw bord), voerde de VHF communicatie van het voorgeprogrammeerde schip en begeleidde de simulaties.

De vertegenwoordiger van TNO TM fungeerde als proefleider en gaf de schippers vooraf een instructie t.a.v. de uit te voeren neventaak.

Per dag hebben er 3 schippers gevaren. De eerste serie proeven is elke dag uitgevoerd door een z.g. IJsselschipper varende op het ongeladen afvarende schip om de twee niet IJsselschippers meer tijd te geven om te wennen aan het traject met de eenvoudiger opvaart met het geladen schip. Elke proefpersoon voerde 9 vaarten uit op het ongeladen schip in de afvaart en 6 vaarten uit op het geladen schip in de opvaart. Na elke vaart werd door de vertegenwoordiger van TNO TM een enquête voor iedere schipper gehouden en aan het einde van elke dag werd er t.a.v. het totale resultaat van die dag nog een enquête per schipper gehouden.

In Bijlage E is een tabel opgenomen waarin alle 135 uitgevoerde simulatorruns zijn vastgelegd.

6.1.4 Verwerking van de resultaten

De resultaten van bovengenoemde simulatorruns zijn opgeslagen met een frequentie van 1.1 Hz in datafiles. Deze gegevens zijn, in verwerkte vorm aan TNO TM geleverd ter verdere analyse. Daarnaast zijn deze files gebruikt om de in paragraaf 6.2 beschreven analyse te voeren. De uitwerking van de enquêtes is door TNO TM uitgevoerd.

6.2 Analyse van de simulatorruns

6.2.1 Opzet van de analyse

Naast de analyse, die TNO TM heeft uitgevoerd op de resultaten [11], heeft MARIN/MSCN een analyse uitgevoerd om te komen tot conclusies en aanbevelingen voor de specifiek in dit traject optredende knelpunten. Deze analyse bestaat uit het maken van swept path plots van de ontmoetingen in elke bocht en de daarbij behorende dataplots van voorwaartse snelheid, driftsnelheid en giersnelheid en van het gebruik van roer, hoofdschroef en boegschroef. De resultaten van de analyse zijn gegeven in bijlage F. Voor elke bocht is een traject van 500 m voor en 500 m na het geplande midden van de ontmoeting genomen. Hierdoor is het verloop van de ontmoetingsmanoeuvres goed te beoordelen.

Om de resultaten van de simulaties te kunnen gebruiken voor het doen van uitspraken voor elke bocht afzonderlijk, zijn de analyses per bocht uitgevoerd. Deze analyses per bocht zijn gesplitst in vaarten met een interactieve ontmoeting en vaarten met een voorgeprogrammeerde ontmoeting, omdat er uit de TNO TM resultaten bleek dat er bij de voorgeprogrammeerde ontmoeting over het algemeen meer ruimte overbleef voor de

afvaart. Verder is er een verdeling gemaakt naar gebruik van boegschroef in de bocht, om het effect hiervan op de gerealiseerde padbreedte te kunnen beoordelen.

De swept path plots zijn apart gegeven voor de ongeladen en geladen schepen van ongeveer 500m voor tot 500m na het centrum van de ontmoeting. Voor de bepaling van de swept path lijnen wordt de vaarweg verdeeld in een aantal dwarsraai. Voor elke vaart in een bepaalde conditie worden de uiterste punten van het schip in elke dwarsraai bepaald. Deze punten vormen samen de omhullende van alle vaarten in een bepaalde conditie. De swept path-1 lijnen geven de omhullenden van alle vaarten met uitzondering van de buitenste punten van een vaart in een bepaalde dwarsraai. Omdat de swept path en swept path-1 punten per dwarsraai worden bepaald behoren de uiterste punten in alle dwarsraai van het hele traject over het algemeen niet tot een zelfde vaart. Per dwarsraai kan een andere vaart verantwoordelijk zijn voor de uiterste punten. Het verschil tussen de swept path en de swept path-1 lijnen geeft een indruk van de spreiding binnen de vaarten. De minimale schip/schip- en schip/walafstanden zijn reeds door TNO TM geanalyseerd. Het gaat bij de swept path plots dan ook vooral om het beoordelen van het verloop van de vaarbaan in de bocht, vlak voor, tijdens en na de ontmoeting. In de swept path plots zijn steeds de dieptelijnen geplot die relevant zijn voor diepgang van het betreffende schip aan zijn eigen oever. Aan de oever waar het geladen schip heeft gevaren is de 2.80 m dieptelijn geplot. Aan de oever waar het ongeladen schip heeft gevaren zijn de 1.30 m en de 2.16 m dieptelijn geplot. De 2.16 m dieptelijn is geplot omdat dit de maximale diepgang was van het gebruikte model; de 1.30 m dieptelijn is geplot om een indruk te krijgen hoeveel ruimte er nog over is voor een echt leeg schip (zie ook paragraaf 6.3).

Het verloop van voorwaartse snelheid, driftsnelheid en giersnelheid en van het gebruik van roer, hoofdschroef en boegschroef, zoals getoond in de dataplots, geeft een inzicht in de marges, die nog over zijn in roer- telegraaf- en boegschroefgebruik. Indien grote roerhoeken (langere tijd boven de 20 graden) en extra toeren zijn gebruikt om het schip binnen de vaarweg te houden, betekent dit dat de veiligheid van de manoeuvre te wensen overlaat. Aan de hand van de dataplots zullen criteria voor de diverse grootheden worden besproken.

De standaard analyse zoals beschreven in dit hoofdstuk geeft geen absolute getallen maar een beoordeling van de nautische situatie. Deze analyse heeft tot doel het verloop van de manoeuvres te analyseren en daarmee meer inzicht te verschaffen in de gevolgde vaarmethoden, de risico's daarvan en de eventueel mogelijke aanpassingen aan het vaargedrag voor deze specifieke situatie. Tabel 6.1 geeft de geanalyseerde situaties.

De numerieke resultaten staan in hoofdstuk 7 en zijn gebaseerd op de analyse van de werklasmetingen, zoals uitgevoerd door TNO-TM, en uit de aanvullende analyse van padbreedte en marges.

Situatie No.	Bocht No.	Soort ontmoeting	Boegschroef gebruikt in bocht	Huidige situatie	Verruimde situatie	Verbrede situatie	Totaal
31	3	interactief	ja	1	2	1	4
32			nee	4	3	4	11
33		Voorgeprogrammeerd	ja	10	1	2	13
34			nee	25	4	3	32
41	4	interactief	ja	2	2	1	5
42			nee	8	8	9	25
44		voorgeprogrammeerd	ja			1	1
44			nee	10	10	9	29
51	5	interactief	ja	2	1		3
52			nee	3	4	5	12
53		voorgeprogrammeerd	ja		2	1	3
54			nee	5	3	4	12
61	6	interactief	ja	3	2	2	7
62			nee	2	3	3	8
66		voorgeprogrammeerd	ja	3	2	3	8
64			nee	2	3	2	7
71	7	interactief	ja	2			2
72			nee	3	5	5	13
77		voorgeprogrammeerd	ja		1		1
74			nee	5	4	5	14
			Totaal	90	60	60	210

Tabel 6.1: Geanalyseerde situaties en aantal runs

6.2.2 Resultaten van de analyse

De swept path plots en de dataplots zijn gebruikt om de volgende resultaten te beoordelen:

1. Een algemene analyse van het verloop van voorwaartse snelheid, driftsnelheid en giersnelheid en van het gebruik van hoofdschroef en roer;
2. De padbreedte en verloop daarvan van het ongeladen schip voor, tijdens en na de ontmoeting;
3. Het verloop van de actuele giersnelheid van het ongeladen schip t.o.v. de gemiddeld benodigde giersnelheid voor de betreffende bocht, voor, tijdens en na de ontmoeting;
4. Het gebruik van de boegschroef van het ongeladen schip voor, tijdens en na de ontmoeting;
5. De padbreedte en verloop daarvan van het geladen schip ter plaatse van een eventuele ondiepte in de binnenbocht;
6. De padbreedte en verloop daarvan van het geladen schip voor, tijdens en na de ontmoeting;
7. Het verloop van de actuele giersnelheid van het geladen schip t.o.v. de gemiddeld benodigde giersnelheid voor de betreffende bocht, ter plaatse van een eventuele ondiepte in de binnenbocht;

8. Het verloop van de actuele giersnelheid van het geladen schip t.o.v. de gemiddeld benodigde giersnelheid voor de betreffende bocht, voor, tijdens en na de ontmoeting;

Bij de situaties waarbij er zonder gebruik van boegschroef werd gevaren, er geen ondiepten waren in desbetreffende bocht of gevaren werd met een voorgeprogrammeerd geladen schip (dus geen variatie in padbreedte of snelheid, drift en giersnelheid), ontbreken respectievelijk de analyses 4, 5, 6, 7 en/of 8.

De numerieke resultaten van deze analyse zijn gegeven in Tabel F1 t/m F5 (zie bijlage F). De swept path plots en de dataplots zijn eveneens in bijlage F gegeven. Deze resultaten zijn vertaald naar de beoordeling van de diverse situaties, zoals hieronder beschreven.

De beoordeling van de swept path plots is uitgevoerd door swept path lijnen en de swept path-1 lijnen ter plaatse van de ontmoeting en voor en na de ontmoeting te meten. De waarden van de zo ontstane padbreedten voor meerdere vaarten zijn gegeven in de volgende vorm: 25/34 m (Swept path-1 lijn/Swept path lijn). Deze twee getallen geven een beeld van de spreiding binnen de vaarten. Bij een enkele vaart zijn alleen de swept path lijnen gegeven (geen spreiding).

Van de resultaten voor de bestaande situatie worden de numerieke waarden gegeven en besproken omdat hiermee de actuele situatie is gemodelleerd. Voor de verruimde variant en de verbrede variant zijn in de tekst alleen de kwalitatieve resultaten t.o.v. de bestaande situatie gegeven. Deze zijn echter wel bepaald aan de hand van de kwantitatieve resultaten uit Tabel F1 t/m F5.

6.2.2.1 Algemene resultaten

De analyse van het verloop van voorwaartse snelheid en van het gebruik van hoofdschroef en roer van alle dataplots geeft de volgende resultaten:

Het hoofdschroefgebruik en de daaruit resulterende voorwaartse snelheid geven geen extreme situaties te zien. De telegraaf blijft in het algemeen in de vooringestelde stand behorend bij een snelheid door het water van 13 km/uur.

Het grootste deel van de vaarten is met een bochtautomaat gemaakt. De instelling van de automaat bepaald daarbij het verloop van de roerhoeken. Het heeft daarom geen zin om uit het verloop van de roerhoeken conclusies te trekken ten aanzien van het gedrag van de schippers. Wel kunnen er uitspraken gedaan worden over de gemiddelde roerhoeken die nodig zijn in een bepaalde bocht en tijdens de ontmoetingen. De gebruikte roerhoeken zijn over het algemeen niet groot. Alleen voor het plotseling vergroten of verkleinen van de giersnelheid worden kortstondig grotere roerhoeken gebruikt.

Uit het feit dat de toegepaste roerhoeken niet extreem zijn, volgt ook dat de optredende drift- en giersnelheden niet extreem zijn onder deze omstandigheden. Over het algemeen is de manoeuvreerbaarheid van het schip geen beperkende factor voor het varen door de bochten in het onderzochte traject.

6.2.2.2 Resultaten voor bocht 3 (bochtstraal 400 m, stuurboord/stuurboord ontmoeting)

Resultaten voor de huidige situatie

Situatie 31, interactieve ontmoeting met gebruik van boegschroef (1 run), figuren F2 t/m F7.

Het ongeladen schip houdt de padbreedte minimaal (15 tot 18 m) door een juist gebruik van de boegschroef. De giersnelheid varieert tussen 20°/min en 55°/min tijdens de ontmoeting terwijl een constante giersnelheid van 36°/min benodigd zou zijn geweest. Dit geeft aan dat de schipper de padbreedte tijdelijk heeft verminderd door voor de ontmoeting een extra draai in het schip te brengen, tijdens de ontmoeting de giersnelheid tijdelijk te verlagen en daarna de giersnelheid weer te verhogen om niet in de wal te lopen. Het ongeladen schip strekt tijdelijk de baan om de padbreedte te verkleinen. Deze manier van ontmoeten met geringe padbreedte is goed mogelijk met een juist gebruik van de boegschroef. In dit geval is de boegschroef op 65% van het vermogen gebruikt.

Het geladen schip heeft na de ondiepte tijdelijk een vrij grote padbreedte (21 m) en een grote giersnelheid (34°/min) om naar de binnenbocht te varen. Het geladen schip strekt daarna tijdelijk de baan om de padbreedte te verkleinen. Daarbij varieert de giersnelheid tussen 7°/min en 25°/min tijdens de ontmoeting terwijl een constante giersnelheid van 17,2°/min benodigd zou zijn geweest.

Situatie 32, interactieve ontmoeting zonder gebruik van boegschroef (4 runs), figuren F8 t/m F13.

Het ongeladen schip vaart vrij resoluut naar de buitenbocht en heeft dan veel padbreedte nodig om na de ontmoeting weer naar het midden van het vaarwater te komen. Bij de interactieve ontmoeting is de padbreedte van het ongeladen schip tussen de 26 m (Swept path-1 lijn) en 32 m (Swept path lijn). Daarna loopt de padbreedte op tot 25/34 m (Swept path-1 lijn/Swept path lijn), omdat het ongeladen schip uit het talud probeert te varen. De giersnelheid varieert tussen 38°/min en 45°/min tijdens de ontmoeting terwijl een constante giersnelheid van 34°/min benodigd zou zijn geweest. De schipper strekt de baan niet echt.

Het door de schipper gestuurde geladen schip gebruikt bij het vrijvaren van de ondiepte aan bakboord en het terugvaren naar de binnenbocht, een erg grote padbreedte (tot 33/40 m). Voor, tijdens en na de ontmoeting varieert de padbreedte nogal van 19/23 m tot 25/42 m). Bij het vrijvaren van de ondiepte en naar de binnenbocht varen wordt een giersnelheid van 30°/min bereikt. Het geladen schip strekt daarna tijdelijk de baan om de padbreedte te verkleinen. Daarbij varieert de giersnelheid tussen 8°/min en 27°/min tijdens de ontmoeting terwijl een constante giersnelheid van 21°/min benodigd zou zijn geweest.

Situaties 33 en 34, voorgeprogrammeerde ontmoeting met en zonder gebruik van boegschroef (10 en 25 runs), figuren F14 t/m F21.

Het ongeladen schip vaart vrij breed en niet echt naar de buitenbocht omdat het voorgeprogrammeerde geladen schip veel ruimte geeft. De schipper van het ongeladen schip neemt deze ruimte ook. Bij de voorgeprogrammeerde ontmoeting is de padbreedte van het ongeladen schip ongeveer 32/33 m (Swept path-1 lijn/Swept path

lijn) en na de ontmoeting 37/44 m. De giersnelheid loopt op tot 50°/min tijdens de ontmoeting terwijl een constante giersnelheid van 32°/min benodigd zou zijn geweest. De schipper strekt de baan niet.

Resultaten voor de verruimde variant (figuren F22 t/m F41)

In de verruimde variant zijn resultaten over het algemeen iets beter (kleinere padbreedte) dan voor de bestaande situatie. Dit kan voor het geladen schip verklaard worden doordat de ondiepte in de binnenbocht was verwijderd, waardoor het schip de bocht beter kan aansnijden. Voor het ongeladen schip zou dit ook een gunstige invloed kunnen hebben omdat de ontmoeting vloeiender kan verlopen.

Vooral de padbreedte van de voorgeprogrammeerde ontmoetingen geven een gunstiger beeld dan de vaarten in de huidige situatie. De resultaten van de vaarten zonder gebruik van boegschroef zijn vergelijkbaar met de resultaten van de interactieve ontmoetingen. In de verruimde variant is de ruimte die gegeven wordt door het voorgeprogrammeerde schip veel minder gebruikt door de afvaart.

Dit verschil tussen verruimde en huidige situatie zou het gevolg kunnen zijn van het feit dat de vaarten met de voorgeprogrammeerde ontmoetingen in de huidige situatie vooral uitgevoerd zijn aan het begin van elke sessie, met een nieuwe schipper. Hierbij kan het gebrek aan gewenning aan schip en simulator een rol hebben gespeeld, waardoor de spreiding over de vaarten relatief groot is.

De vaarten met gebruik van boegschroef geven vooral bij de ontmoeting een kleinere padbreedte.

Resultaten voor de verbrede variant (figuren F42 t/m F61)

In de verbrede variant zijn de padbreedten zeker niet groter dan in de bestaande en de verruimde variant. De indruk ontstaat dat er 'netter' of misschien minder nerveus dus vloeiender wordt gevaren in de ruimere varianten. Dit is te meer interessant omdat er ondanks dat er in de verbrede variant meer ruimte voor spreiding is, de swept path plots iets smallere vaarten laten zien. Dit is ook te verklaren uit het feit dat er in een bredere variant minder abrupt hoeft te worden gemanoeuvreed en dus de giersnelheden en driftsnelheden lager kunnen blijven. De grote padbreedtes in de huidige situatie worden vooral veroorzaakt door de hoge gier- en driftsnelheden die optreden bij het kort langs het andere schip varen tijdens de ontmoeting en het daarna snel weer bij de oever weg willen zijn.

De vaart met een interactieve ontmoeting en gebruik van boegschroef geeft ook hier een kleinere padbreedte.

Samenvatting bocht 3

Huidige situatie

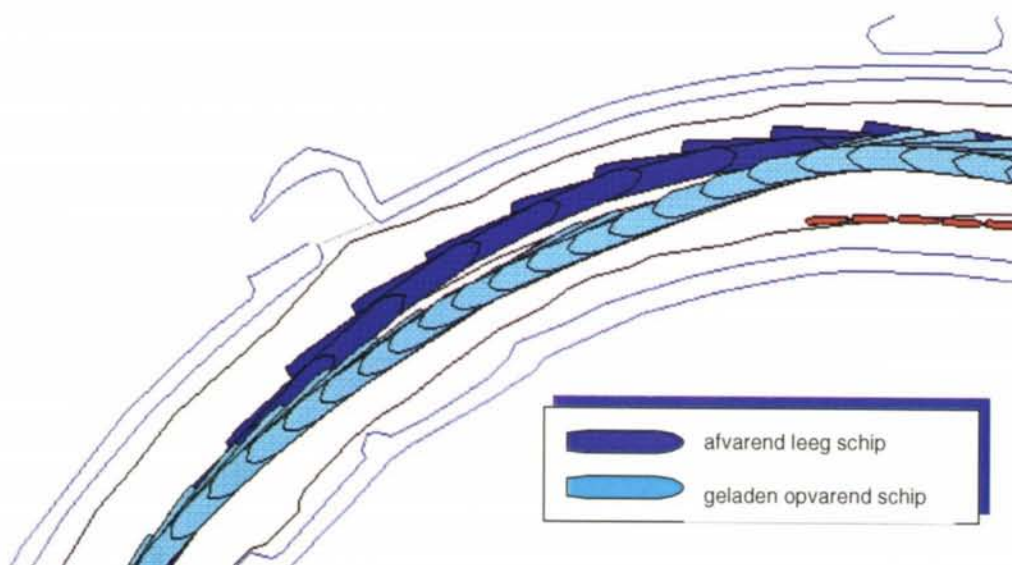
Het ongeladen schip vaart (te) laat naar de buitenbocht en heeft dan vrij veel padbreedte nodig om weer uit de wal te varen na de ontmoeting. Ook de giersnelheid loopt dan erg op.

De schipper kan, doordat hij teveel naar de buitenbocht vaart, de baan tijdens de ontmoeting nauwelijks strekken om de padbreedte te verminderen.

Het geladen schip gebruikt veel breedte en heeft een grote giersnelheid nodig om de ondiepte aan de binnenbocht vrij te varen en komt daardoor slecht uit voor de ontmoeting.

De schipper van het geladen schip strekt de baan tijdens de ontmoeting om de padbreedte te verminderen maar komt daardoor (te) veel naar de buitenbocht en heeft dan weer veel padbreedte nodig om weer gestrekt te komen.

In Figuur 6.1 is een voorbeeld gegeven van een ontmoeting tussen het afvarende lege schip (donkerblauw) en het opvarende geladen schip (licht blauw) in de huidige situatie⁹.



Figuur 6.1 Ontmoeting bocht 3, huidige situatie

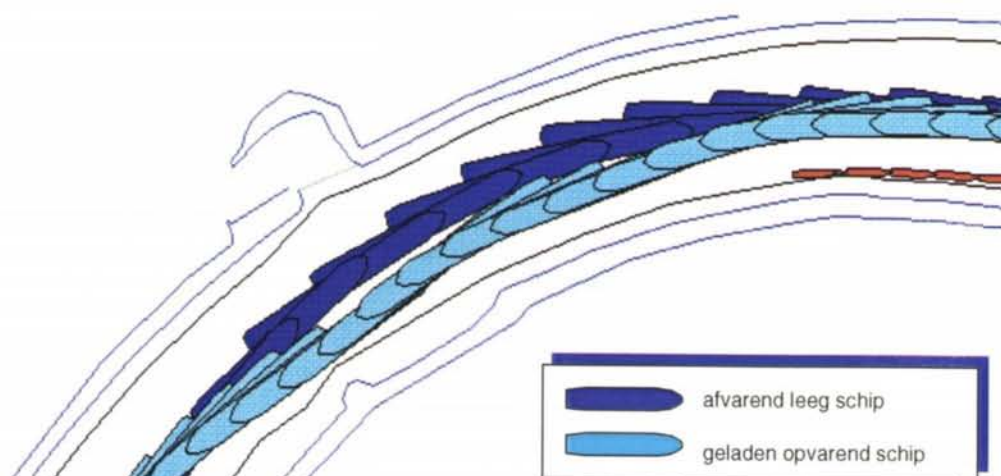
Verruimde variant

De resultaten in de verruimde variant zijn over het algemeen beter dan in de huidige situatie (kleinere padbreedte en een vloeiender verloop van de vaarten). Dit kan verklaard worden uit het feit dat het geladen schip de bocht beter aansnijdt; de ontmoeting is daardoor meer voorspelbaar waardoor de vaarten minder spreiding vertonen.

De schipper van het geladen schip strekt de baan tijdens de ontmoeting om de padbreedte te verminderen maar komt door het beter aansnijden van de bocht minder naar de buitenbocht en komt weer gemakkelijk gestrekt.

In Figuur 6.2 is een voorbeeld gegeven van een ontmoeting in de verruimde variant.

⁹ In alle figuren is het afvarende lege schip donkerblauw en het opvarende geladen schip licht blauw. De oranje schepen (de recreatievaarder en het voorgeprogrammeerde schip) zijn voor de ontmoeting niet van belang. Deze passeren de locatie van de ontmoeting op een ander tijdstip.

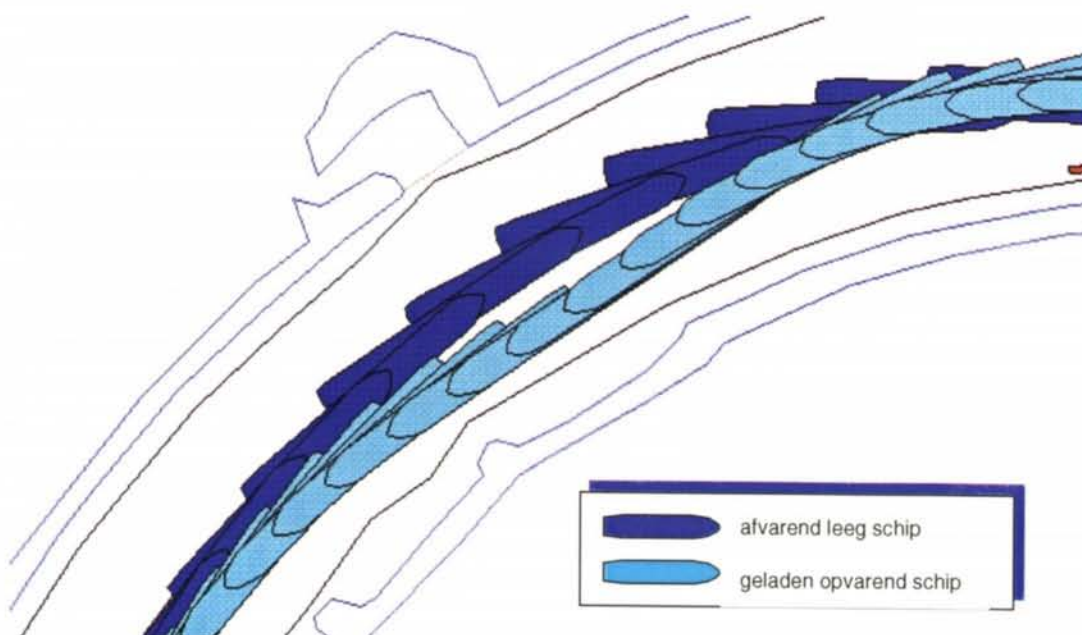


Figuur 6.2 Ontmoeting bocht 3, verruimde variant

Verbrede variant

De padbreedte in de verbrede variant is zeker niet groter dan in de huidige en de verruimde variant. Dit is te verklaren uit het feit dat er in een bredere variant minder abrupt hoeft te worden gemanoeuvrerd en de giersnelheden en driftsnelheden (en dus padbreedte) lager kunnen blijven.

In Figuur 6.3 is een voorbeeld gegeven van een ontmoeting in de verbrede variant.



Figuur 6.3 Ontmoeting bocht 3, verbrede variant

6.2.2.3 Resultaten voor bocht 4 (bochtstraal 1000 m, bakboord/bakboord ontmoeting)

Resultaten voor de huidige situatie

Situatie 41, interactieve ontmoeting met gebruik van boegschroef (2 runs), figuren F42 t/m F68.

Het ongeladen schip houdt de padbreedte vrij klein (15 tot 21 m). De giersnelheid varieert tussen 5°/min en 28°/min tijdens de ontmoeting terwijl een constante giersnelheid van 13°/min benodigd zou zijn geweest. Het verloop van de giersnelheid geeft aan dat de schipper de padbreedte tijdelijk enigszins heeft verminderd door voor de ontmoeting een extra draai in het schip te brengen en tijdens de ontmoeting de giersnelheid tijdelijk te verlagen. Het ongeladen schip strekt tijdelijk de baan enigszins in een poging de padbreedte iets te verkleinen. Het verloop van de giersnelheid voor en tijdens ontmoeting zou vloeiender kunnen zijn waardoor de maximale padbreedte ook kleiner kan blijven. Dit wordt bereikt indien de schippers met minder variatie in roerhoeken de bochten varen.

Het geladen schip heeft een vrij grote variatie in padbreedte (12 tot 21 m). Het geladen schip strekt tijdelijk de baan om de padbreedte te verkleinen. Daarbij varieert de giersnelheid vrij sterk tussen 7°/min en 25°/min tijdens de ontmoeting terwijl een constante giersnelheid van 11,7°/min benodigd zou zijn geweest.

Situatie 42, interactieve ontmoeting zonder gebruik van boegschroef (8 runs), figuren F69 t/m F74.

Het ongeladen schip neemt vrij veel padbreedte. Bij de interactieve ontmoeting is de padbreedte van het ongeladen schip 25 m door de spreiding binnen de vaarten. Daarbuiten loopt de padbreedte op tot 30/36 m (Swept path-1 lijn/Swept path lijn), omdat daar voldoende ruimte is en meer spreiding ontstaat. De giersnelheid varieert tussen 22°/min en 17°/min tijdens de ontmoeting terwijl een constante giersnelheid van 14,8°/min benodigd zou zijn geweest. De schipper strekt de baan niet. Het verloop van de giersnelheid voor en tijdens de ontmoeting zou vloeiender kunnen zijn waardoor de maximale padbreedte ook kleiner kan blijven.

Het geladen schip heeft een vrij grote padbreedte door de spreiding. Voor, tijdens en na de ontmoeting varieert de padbreedte van 18 m tot 19/21 m. De giersnelheid varieert tussen 12°/min en 0°/min tijdens de ontmoeting terwijl een constante giersnelheid van 10°/min benodigd zou zijn geweest.

Situatie 44, voorgeprogrammeerde ontmoeting zonder gebruik van boegschroef (10 runs), figuren F75 t/m F78.

Het ongeladen schip vaart vrij breed. Bij de voorgeprogrammeerde ontmoeting is de padbreedte van het ongeladen schip ongeveer 24 m en na de ontmoeting 27/32 m (Swept path-1 lijn/Swept path lijn). De giersnelheid varieert tussen 20°/min en 14°/min tijdens de ontmoeting terwijl een constante giersnelheid van 15°/min benodigd zou zijn geweest. De schipper strekt de baan niet.

Resultaten voor de verruimde variant (figuren F79 t/m F94)

In de verruimde variant zijn resultaten vrijwel gelijk aan de resultaten van de bestaande situatie. Dit kan verklaard worden uit het feit dat er voor bocht 4 vrijwel geen verschil in breedte is tussen de verruimde en de bestaande situatie.

Resultaten voor de verbrede variant (figuren F95 t/m F114)

In de verbrede variant zijn de padbreedten nauwelijks groter dan in de bestaande en de verruimde variant. De indruk ontstaat dat er 'netter' of misschien minder nerveus dus vloeiender wordt gevaren in de ruimere varianten. Dit is te meer interessant omdat er ondanks dat er in de verbrede variant meer ruimte voor spreiding is, de swept path plots geen bredere padbreedten laten zien. Dit is ook te verklaren uit het feit dat er in een bredere variant minder abrupt hoeft te worden gemanoeuvreed en dus de giersnelheden en driftsnelheden lager kunnen blijven. Dit vermindert de spreiding ook.

De vaarten met gebruik van boegschroef geven ook hier een kleine padbreedte te zien; dit beeld wordt echter gunstig beïnvloed doordat er in elke situatie met boegschroef slechts 1 vaart is gemaakt waardoor er geen spreiding is.

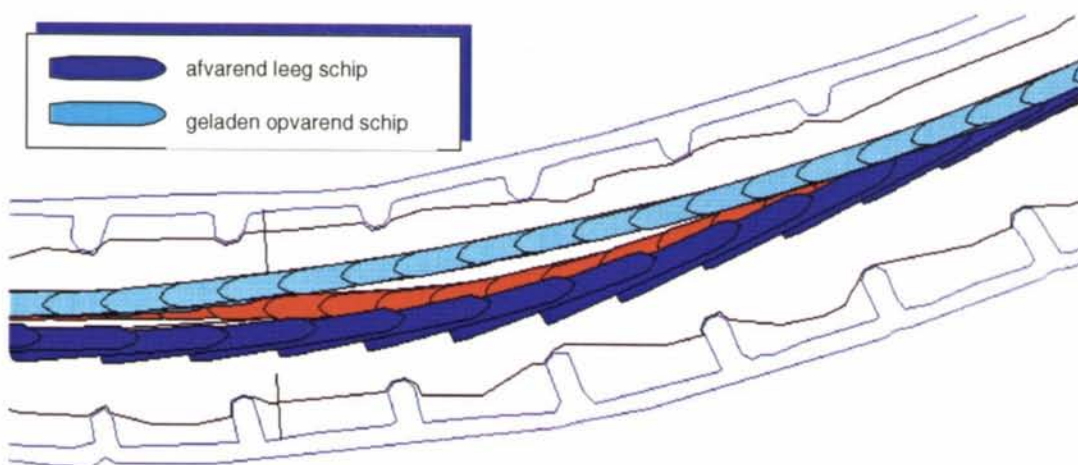
Samenvatting bocht 4*Huidige situatie*

Het ongeladen schip vaart (te) laat naar de buitenbocht en heeft dan voor deze bochtstraal vrij veel padbreedte nodig. Ook de giersnelheid loopt dan teveel op. De manoeuvre kan vloeiender worden gevaren.

De schipper van het ongeladen schip strekt de baan tijdens de ontmoeting iets om de padbreedte te verminderen.

De schipper van het geladen schip strekt de baan tijdens de ontmoeting om de padbreedte te verminderen.

In Figuur 6.4 is een voorbeeld gegeven van een ontmoeting in de huidige situatie.

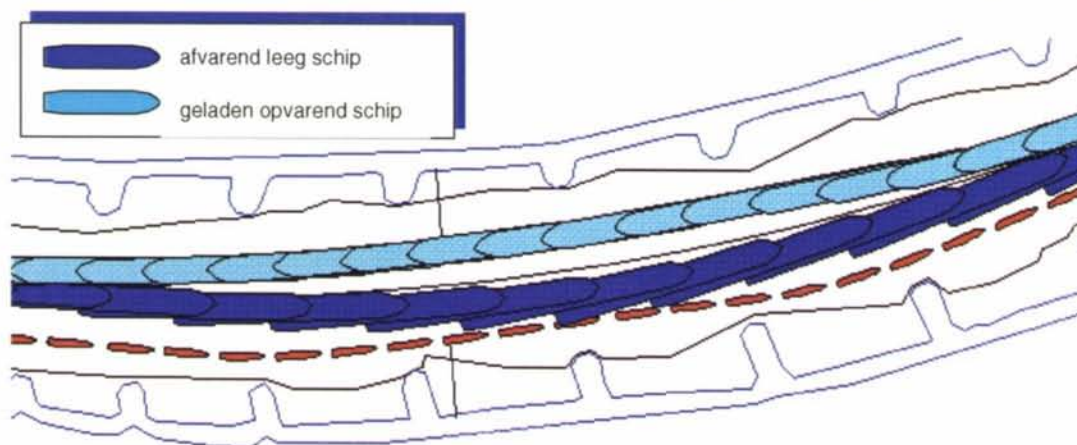


Figuur 6.4 Ontmoeting bocht 4, huidige situatie

Verruimde variant

De resultaten in de verruimde variant zijn over het algemeen vrijwel gelijk aan de resultaten in de huidige situatie, omdat de verruimde variant in bocht 4 en 7 nauwelijks verschilt van de huidige situatie.

In Figuur 6.5 is een voorbeeld gegeven van een ontmoeting in de verruimde variant.

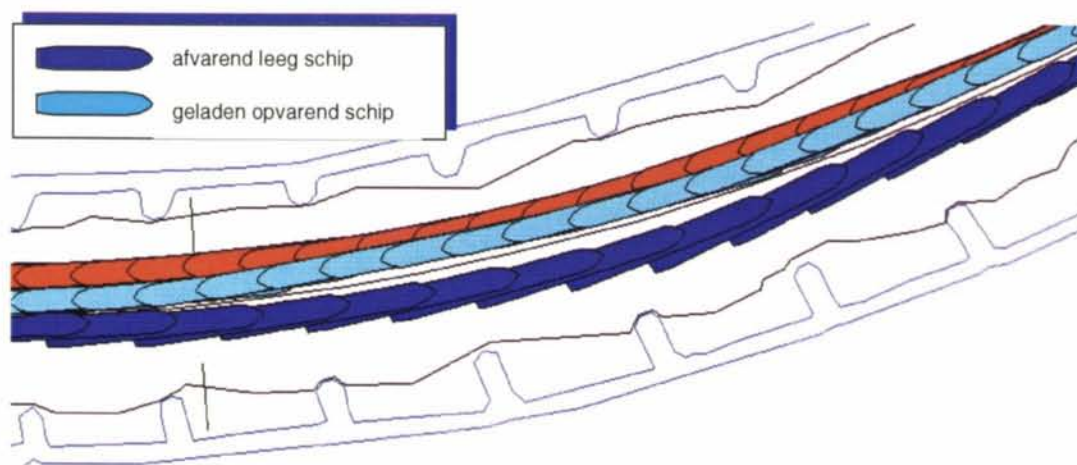


Figuur 6.5 Ontmoeting bocht 4, verruimde variant

Verbrede variant

In de verbrede variant zijn de padbreedten nauwelijks groter dan in de bestaande en de verruimde variant. Ondanks dat er in de verbrede variant meer ruimte voor spreiding is, laten de swept path plots geen bredere vaarten zien. Er geldt waarschijnlijk dat een ruimere vaarweg een rustiger, dus beter voorspelbaar manoeuvreerbeeld geeft.

In Figuur 6.6 is een voorbeeld gegeven van een ontmoeting in de verbrede variant.



Figuur 6.6 Ontmoeting bocht 4, verbrede variant

6.2.2.4 Resultaten voor bocht 5 (bochtstraal 550 m, stuurboord/stuurboord ontmoeting)

Resultaten voor de huidige situatie

Situatie 51, interactieve ontmoeting met gebruik van boegschroef (2 runs), figuren F115 t/m F121.

Het ongeladen schip houdt in deze twee runs de padbreedte vrij groot (15 tot 33 m). De giersnelheid varieert tussen 25°/min en 48°/min tijdens de ontmoeting terwijl een constante giersnelheid van 23°/min benodigd zou zijn geweest. Het verloop van de giersnelheid voor en tijdens de ontmoeting zou vloeiender kunnen zijn waardoor de maximale padbreedte ook kleiner kan blijven. De boegschroef is niet erg consequent gebruikt, zodat er geen merkbare verkleining van de padbreedte optreedt.

Het geladen schip heeft een vrij grote variatie in padbreedte (12 tot 30 m). Het geladen schip strekt tijdelijk de baan om de padbreedte te verkleinen. Daarbij varieert de giersnelheid vrij sterk tussen 1°/min en 34°/min tijdens de ontmoeting terwijl een constante giersnelheid van 14.4°/min benodigd zou zijn geweest.

Situatie 52, interactieve ontmoeting zonder gebruik van boegschroef (3 runs), figuren F122 t/m F127.

Het ongeladen schip vaart vrij resoluut naar de buitenbocht en heeft dan veel padbreedte nodig om na de ontmoeting weer naar het midden van het vaarwater te komen. Bij de interactieve ontmoeting is de padbreedte van het ongeladen schip tussen de 27 m (Swept path-1 lijn) en 34 m (Swept path lijn) door de spreiding. Het ongeladen schip heeft in deze bocht met een straal van 550 m slechts een vrij kleine padbreedte nodig. De giersnelheid varieert tussen 30°/min en 44°/min tijdens de ontmoeting terwijl een constante giersnelheid van 23°/min benodigd zou zijn geweest. De schipper strekt de baan niet.

Het geladen schip heeft bij de ontmoeting een normale padbreedte welke varieert tussen de padbreedte van 19 m en 21 m. Door de spreiding is padbreedte voor en na de ontmoeting groter en loopt op tot 24 m. Voor, tijdens en na de ontmoeting varieert de giersnelheid tussen 26°/min en 5°/min tijdens de ontmoeting terwijl een constante giersnelheid van 16°/min benodigd zou zijn geweest. Het geladen schip strekt tijdelijk de baan om de padbreedte te verkleinen.

Situaties 54, voorgeprogrammeerde ontmoeting zonder gebruik van boegschroef (5 runs), figuren F128 t/m F131.

Het ongeladen schip vaart minder breed en niet echt naar de buitenbocht omdat het voorgeprogrammeerde geladen schip meer ruimte geeft. De schipper van het ongeladen schip kan daardoor verder van het talud blijven. Bij de voorgeprogrammeerde ontmoeting is de padbreedte van het ongeladen schip ongeveer 23/28 m (Swept path-1 lijn/Swept path lijn) en na de ontmoeting 19/23 m. De giersnelheid varieert tussen 33°/min en 40°/min terwijl een constante giersnelheid van 25°/min benodigd zou zijn geweest. De schipper strekt de baan niet.

Resultaten voor de verruimde variant (figuren F132 t/m F151)

In de verruimde variant zijn resultaten vrijwel gelijk aan de resultaten van de bestaande situatie. Dit kan verklaard worden uit het feit dat er voor bocht 5 vrijwel geen verschil in breedte is tussen de verruimde en de bestaande situatie.

De vaart met de interactieve ontmoeting met gebruik van boegschroef geeft ook hier een kleine padbreedte te zien; dit beeld wordt echter gunstig beïnvloed omdat er slechts 1 vaart is gemaakt waardoor er geen spreiding is.

Resultaten voor de verbrede variant (figuren F152 t/m F165)

In de verbrede variant zijn de padbreedten niet significant groter dan in de bestaande en de verruimde variant. Ondanks dat er in de verbrede variant meer ruimte voor spreiding is, laten de swept path plots geen bredere padbreedten zien. Dit is ook te verklaren uit het feit dat er in een bredere variant minder abrupt hoeft te worden gemanoeuvreed en dus de giersnelheden en driftsnelheden lager kunnen blijven. Dit vermindert de spreiding ook.

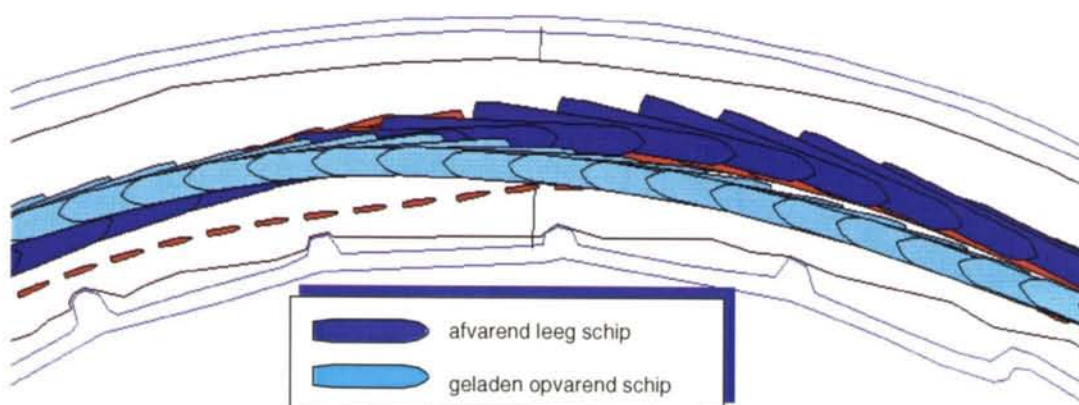
Samenvatting bocht 5

Huidige situatie

Het ongeladen schip vaart (te) laat naar de buitenbocht en heeft dan vrij veel padbreedte nodig om weer uit de buitenbocht te komen. Ook de giersnelheid loopt dan teveel op. De manoeuvre kan vloeiender worden gevaren waardoor de maximale padbreedte afneemt.

De schipper van het geladen schip strekt de baan tijdens de ontmoeting om de padbreedte te verminderen.

In Figuur 6.7 is een voorbeeld gegeven van een ontmoeting in de huidige situatie.

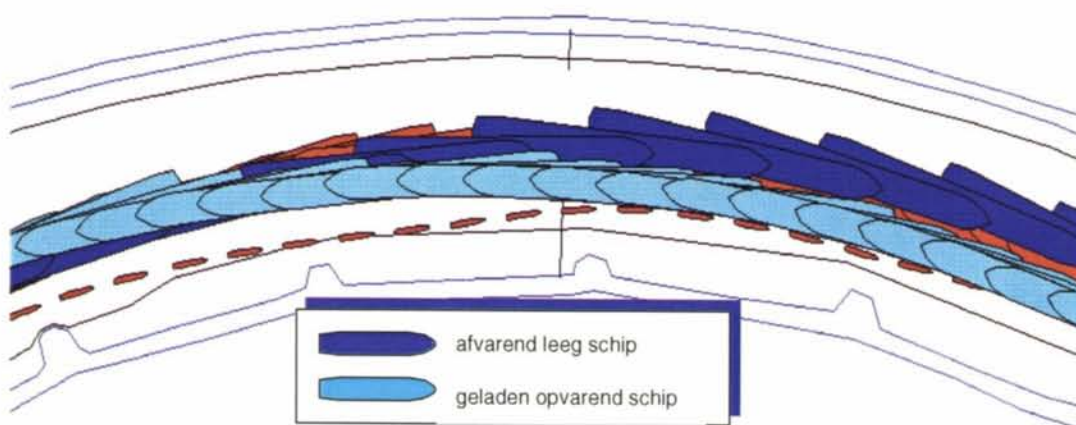


Figuur 6.7 Ontmoeting bocht 5, huidige situatie

Verruimde variant

De resultaten in de verruimde variant zijn over het algemeen vrijwel gelijk aan de resultaten in de huidige situatie, omdat de verruimde variant in bocht 5 nauwelijks verschilt van de huidige situatie.

In Figuur 6.8 is een voorbeeld gegeven van een ontmoeting in de verruimde variant.

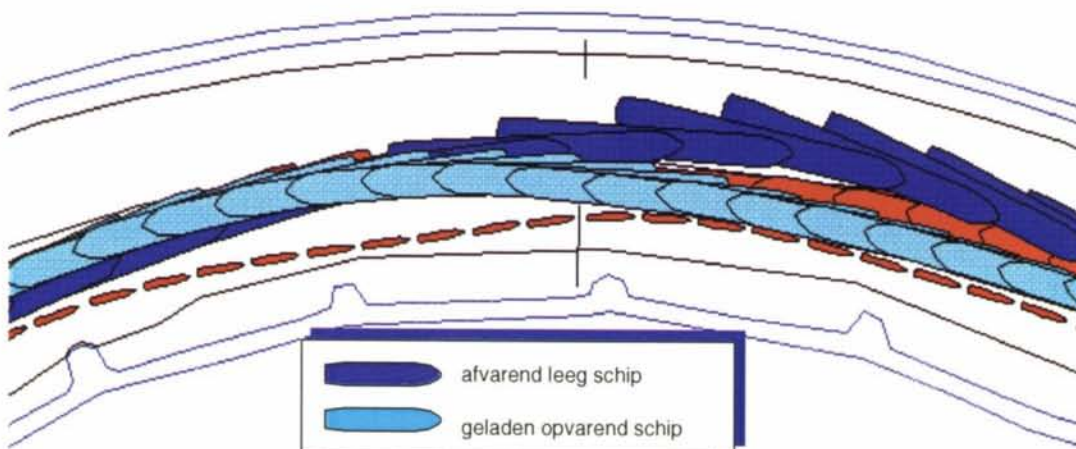


Figuur 6.8 Ontmoeting bocht 5, verruimde variant

Verbrede variant

In de verbrede variant zijn de padbreedten nauwelijks groter dan in de bestaande en de verruimde variant. Ondanks dat er in de verbrede variant meer ruimte voor spreiding is, laten de swept path plots geen bredere vaarten zien. Er geldt waarschijnlijk dat een ruimere vaarweg een rustiger, dus beter voorspelbaar manoeuvreerbeeld geeft.

In Figuur 6.9 is een voorbeeld gegeven van een ontmoeting in de verbrede variant.



Figuur 6.9 Ontmoeting bocht 5, verbrede variant

6.2.2.5 Resultaten voor bocht 6 (bochtstraal 400 m, bakboord/bakboord ontmoeting)

Resultaten voor de huidige situatie

Situatie 61, interactieve ontmoeting met gebruik van boegschroef (3 runs), figuren F166 t/m F172.

Het ongeladen schip heeft in deze runs een vrij grote padbreedte (27/33 en 25/30 m). De giersnelheid varieert tussen 33°/min en 43°/min tijdens de ontmoeting terwijl een constante giersnelheid van 33°/min benodigd zou zijn geweest. De boegschroef is niet erg consequent gebruikt, zodat er geen aanzienlijke verkleining van de padbreedte optreedt. De schipper strekt de baan niet.

Het geladen schip heeft vlak na de, met een boei gemarkeerde ondiepte tijdelijk een vrij grote padbreedte (tot 33 m) en heeft daardoor ook een vrij grote variatie in padbreedte (26/33 en 24/29 m). Het geladen schip strekt tijdelijk de baan om de padbreedte te verkleinen. Daarbij varieert de giersnelheid vrij sterk tussen 3°/min en 25°/min tijdens de ontmoeting terwijl een constante giersnelheid van 18°/min benodigd zou zijn geweest. De ondiepte is mede een oorzaak van de sterke variatie van de giersnelheid.

Situatie 62, interactieve ontmoeting zonder gebruik van boegschroef (2 runs), figuren F173 t/m F178.

Het ongeladen schip vaart vrij resoluut naar de buitenbocht en heeft dan vrij veel padbreedte nodig om na de ontmoeting weer naar het midden van het vaarwater te komen. Bij de interactieve ontmoeting is de padbreedte van het ongeladen schip 30/36 m en ervoor en erna 22/30 m. De giersnelheid varieert tussen 43°/min en 55°/min tijdens de ontmoeting terwijl een constante giersnelheid van 32°/min benodigd zou zijn geweest. De schipper strekt de baan niet.

Het geladen schip heeft vlak na de ondiepte tijdelijk een grotere padbreedte (tot 26 m) en heeft daardoor ook een vrij grote variatie in padbreedte (17/26 en 21/29 m). Het geladen schip strekt tijdelijk de baan om de padbreedte te verkleinen. Daarbij varieert de giersnelheid vrij sterk tussen 13°/min en 33°/min tijdens de ontmoeting terwijl een constante giersnelheid van 18°/min benodigd zou zijn geweest. De ondiepte is mede een oorzaak van de sterke variatie van de giersnelheid.

Situaties 63, voorgeprogrammeerde ontmoeting met gebruik van boegschroef (3 runs), figuren F179 t/m F182.

Het ongeladen schip vaart vrij breed; dit kan het gevolg van spreiding zijn over de drie vaarten. Bij de voorgeprogrammeerde ontmoeting is de padbreedte van het ongeladen schip ongeveer 27/30 m (Swept path-1 lijn/Swept path lijn) en voor en na de ontmoeting 22/30 m. De giersnelheid loopt op tot 46°/min tijdens de ontmoeting terwijl een constante giersnelheid van 31°/min benodigd zou zijn geweest. De schipper strekt de baan niet. Er is geen waarneembaar effect van het boegschroefgebruik, maar dit kan het gevolg zijn van de spreiding van de vaarten.

Situaties 64, voorgeprogrammeerde ontmoeting zonder gebruik van boegschroef (2 runs), figuren F183 t/m F186.

De resultaten van deze situatie verschillen nauwelijks van die van situatie 63. Bij de ontmoeting is de padbreedte van het ongeladen schip ongeveer 29/33 m (Swept path-1 lijn/Swept path lijn) en voor en na de ontmoeting 24/28 m. De giersnelheid loopt op tot 52°/min tijdens de ontmoeting terwijl een constante giersnelheid van 30°/min benodigd zou zijn geweest. De schipper strekt de baan niet.

Resultaten voor de verruimde variant (figuren F187 t/m F206)

In de verruimde variant zijn resultaten over het algemeen beter (kleinere padbreedte) dan voor de bestaande situatie. Dit kan voor het geladen schip verklaard worden doordat de ondiepte en de boei in de binnenbocht waren verwijderd, waardoor het schip de bocht beter kan aansnijden. Voor het ongeladen schip zou dit ook een gunstige invloed kunnen hebben omdat de ontmoeting vloeiender kan verlopen.

Ook de padbreedte van de voorgeprogrammeerde ontmoetingen geven een iets gunstiger beeld dan de vaarten in de huidige situatie. De resultaten van de vaarten zonder gebruik van boegschroef zijn vergelijkbaar met de resultaten van de interactieve ontmoetingen. In de verruimde variant is de ruimte die gegeven wordt door het voorgeprogrammeerde schip veel minder gebruikt door de afvaart.

De vaarten met gebruik van boegschroef geven bij de ontmoeting geen significant kleinere padbreedte, maar dit kan het gevolg zijn van de spreiding van de vaarten.

Resultaten voor de verbrede variant (figuren F207 t/m F226)

In de verbrede variant zijn de padbreedten kleiner dan in de bestaande en de verruimde variant. Ondanks dat er in de verbrede variant meer ruimte voor spreiding is, laten de swept path plots smallere vaarten zien. Ook hier geldt waarschijnlijk dat een ruimere vaarweg een rustiger, dus beter voorspelbaar manoeuvreerbeeld geeft.

De vaarten met gebruik van boegschroef geven bij de ontmoeting geen significant kleinere padbreedte, maar dit kan het gevolg zijn van de spreiding van de vaarten.

Samenvatting bocht 6

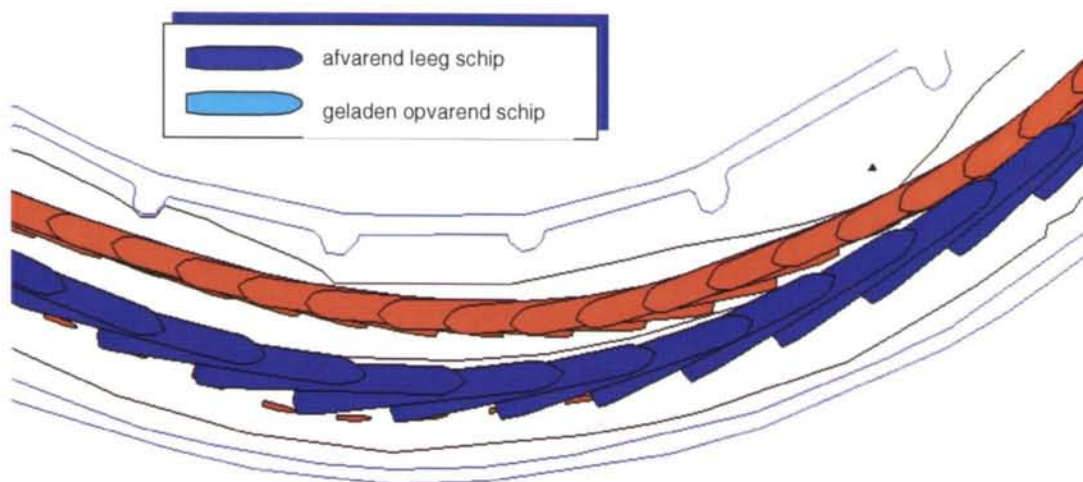
Huidige situatie

Het ongeladen schip vaart (te) laat naar de buitenbocht en heeft dan vrij veel padbreedte nodig om weer uit de wal te varen na de ontmoeting. Ook de giersnelheid loopt dan erg op.

Het geladen schip gebruikt veel breedte en heeft een grote giersnelheid nodig om de, met een boei gemarkeerde ondiepte aan de binnenbocht vrij te varen en komt daardoor slecht uit voor de ontmoeting daar vlak na.

De schipper van het geladen schip strekt de baan nog enigszins tijdens de ontmoeting om de padbreedte te verminderen.

In Figuur 6.10 is een voorbeeld gegeven van een ontmoeting in de huidige situatie.



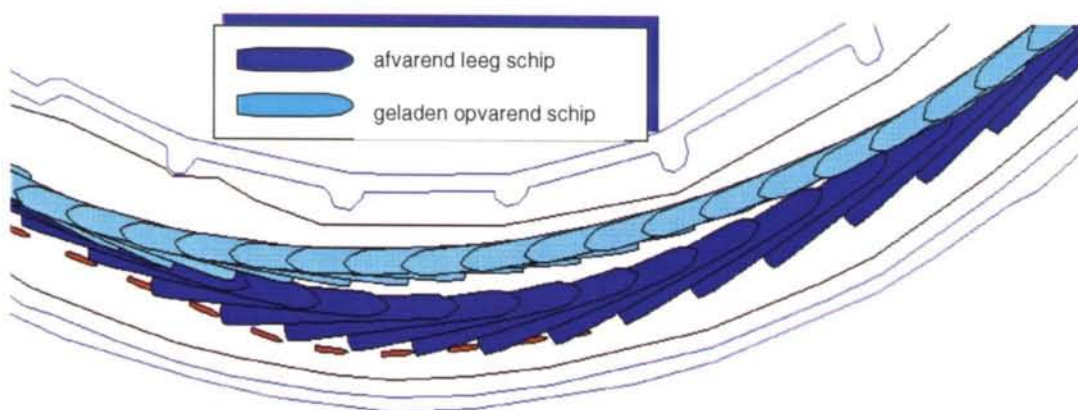
Figuur 6.10 Ontmoeting bocht 6, huidige situatie

Verruimde variant

De resultaten in de verruimde variant zijn over het algemeen beter dan in de huidige situatie (kleinere padbreedte en een vloeiender verloop van de vaarten). Het geladen schip snijdt de bocht beter aan door het ontbreken van de ondiepte met boei; de ontmoeting is daardoor meer voorspelbaar waardoor de vaarten minder spreiding vertonen.

De schipper van het geladen schip strekt de baan tijdens de ontmoeting om de padbreedte te verminderen.

In Figuur 6.11 is een voorbeeld gegeven van een ontmoeting in de verruimde variant.

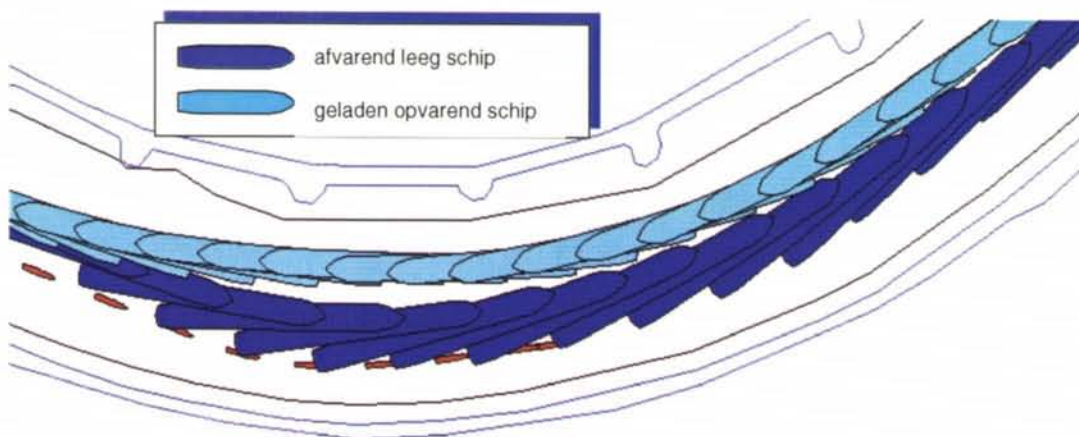


Figuur 6.11 Ontmoeting bocht 6, verruimde variant

Verbrede variant

De padbreedte in de verbrede variant is gemiddeld kleiner dan in de huidige en de verruimde variant. Dit is te verklaren uit het feit dat er in een bredere variant minder abrupt hoeft te worden gemanoeuvrerd en de giersnelheden en driftsnelheden (en dus padbreedte) lager kunnen blijven.

In Figuur 6.12 is een voorbeeld gegeven van een ontmoeting in de verbrede variant.



Figuur 6.12 Ontmoeting bocht 6, verbrede variant

6.2.2.6 Resultaten voor bocht 7 (bochtstraal 1000 m, bakboord/bakboord ontmoeting)

Resultaten voor de huidige situatie

Situatie 71, interactieve ontmoeting met gebruik van boegschroef (2 runs), figuren F227 t/m F233.

Het ongeladen schip houdt de padbreedte op een normale waarde (20 tot 24 m) voor deze bochtstraal (1000 m). De giersnelheid varieert tussen 14°/min en 31°/min tijdens de ontmoeting terwijl een constante giersnelheid van 13°/min benodigd zou zijn geweest. De draai ter plaatse van de ontmoeting wordt niet heel gelijkmatig uitgevoerd, waardoor wat extra spreiding in de padbreedte ontstaat.

Het geladen schip heeft een vrij grote variatie in padbreedte (14 tot 25 m). Daarbij varieert de giersnelheid vrij sterk tussen 3°/min en 22°/min tijdens de ontmoeting terwijl een constante giersnelheid van 9°/min benodigd zou zijn geweest. De 2 vaarten geven een wat onrustig gedrag te zien.

Situatie 72, interactieve ontmoeting zonder gebruik van boegschroef (3 runs), figuren F234 t/m F239.

Het ongeladen schip neemt vrij veel padbreedte. Bij de interactieve ontmoeting is de padbreedte van het ongeladen schip 24/30 m door de spreiding binnen de vaarten. Daarbuiten is de padbreedte kleiner (21/24 m); de ontmoeting zorgt blijkbaar voor extra spreiding. De giersnelheid varieert ook vrij sterk tussen 17°/min en 22°/min tijdens de ontmoeting terwijl een constante giersnelheid van 15.5°/min benodigd zou zijn geweest. De schipper strekt de baan niet. Het verloop van de giersnelheid voor en tijdens

ontmoeting zou vloeiender kunnen zijn waardoor de maximale padbreedte ook kleiner kan blijven.

Het geladen schip heeft een vrij grote padbreedte door de spreiding. Voor, tijdens en na de ontmoeting varieert de padbreedte van 14/17 m tot 18/27 m. De giersnelheid varieert tussen 22°/min en -3°/min tijdens de ontmoeting terwijl een constante giersnelheid van 9°/min benodigd zou zijn geweest. Ook hier is de vaart wat onrustig en de variatie in giersnelheid vrij groot.

Situaties 74, voorgeprogrammeerde ontmoeting zonder gebruik van boegschroef (5 runs), figuren F240 t/m F243

Het ongeladen schip vaart vrij breed met een constante padbreedte van 26/29 m. De giersnelheid varieert tussen 12°/min en 22°/min tijdens de ontmoeting terwijl een constante giersnelheid van 15°/min benodigd zou zijn geweest. De schipper strekt de baan niet.

Resultaten voor de verruimde variant (figuren F244 t/m F257)

In de verruimde variant zijn resultaten vrijwel gelijk aan de resultaten van de bestaande situatie. Dit kan verklaard worden uit het feit dat er voor bocht 7 vrijwel geen verschil in breedte is tussen de verruimde en de bestaande situatie.

Resultaten voor de verbrede variant (figuren F258 t/m F267)

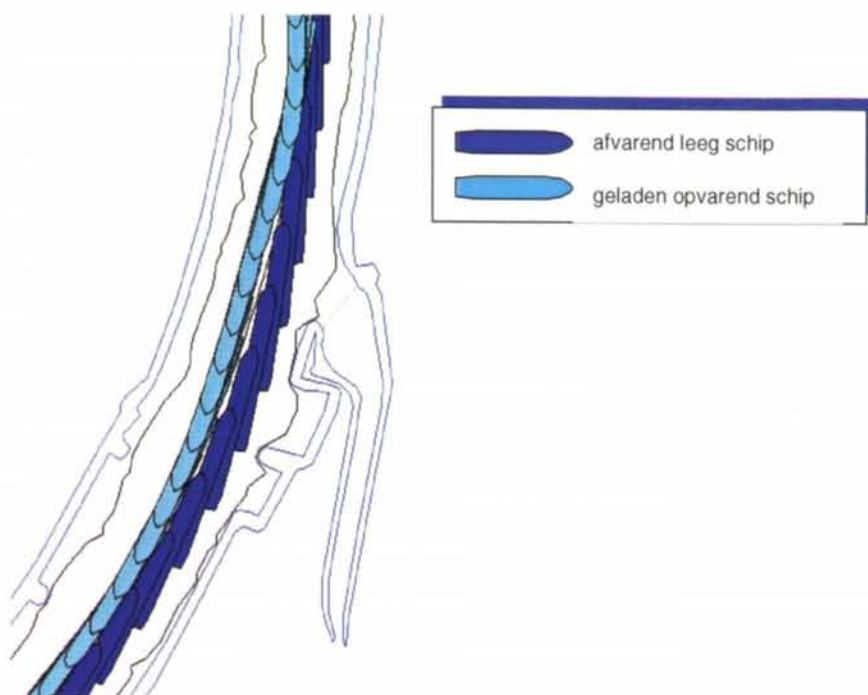
In de verbrede variant zijn de padbreedten nauwelijks groter dan in de bestaande en de verruimde variant. Ondanks dat er in de verbrede variant meer ruimte voor spreiding is, laten de swept path plots geen bredere vaarten zien. Ook hier geldt waarschijnlijk dan een ruimere vaarweg een rustiger, dus beter voorspelbaar manoeuvreerbeeld geeft.

De vaarten met gebruik van boegschroef geven bij de ontmoeting geen significant kleinere padbreedte, maar dit kan het gevolg zijn van de spreiding van de vaarten. Bovendien is boegschroefgebruik niet erg nodig in een bocht met deze straal.

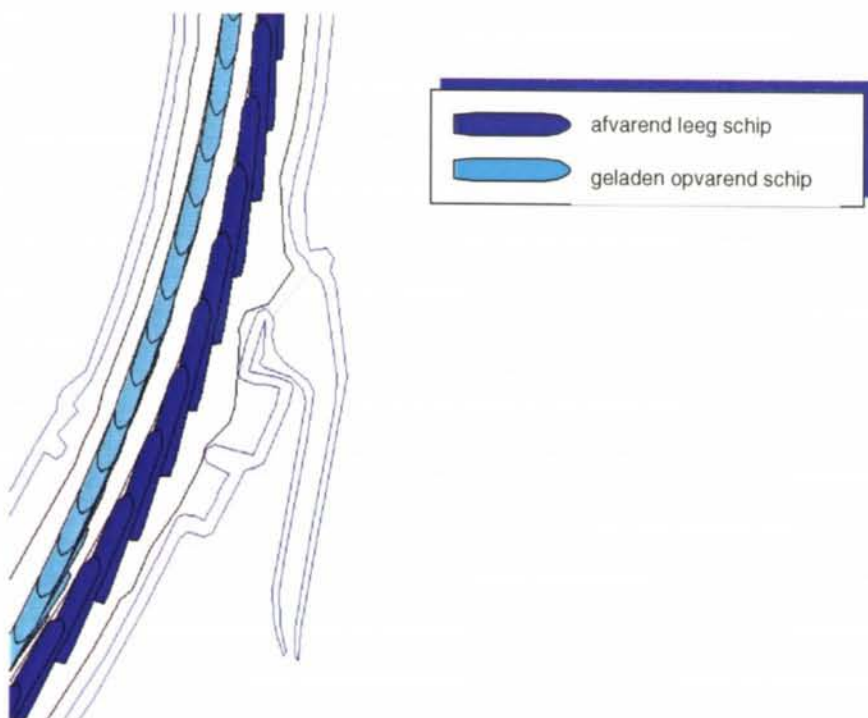
Samenvatting bocht 7

Zie samenvatting bocht 4

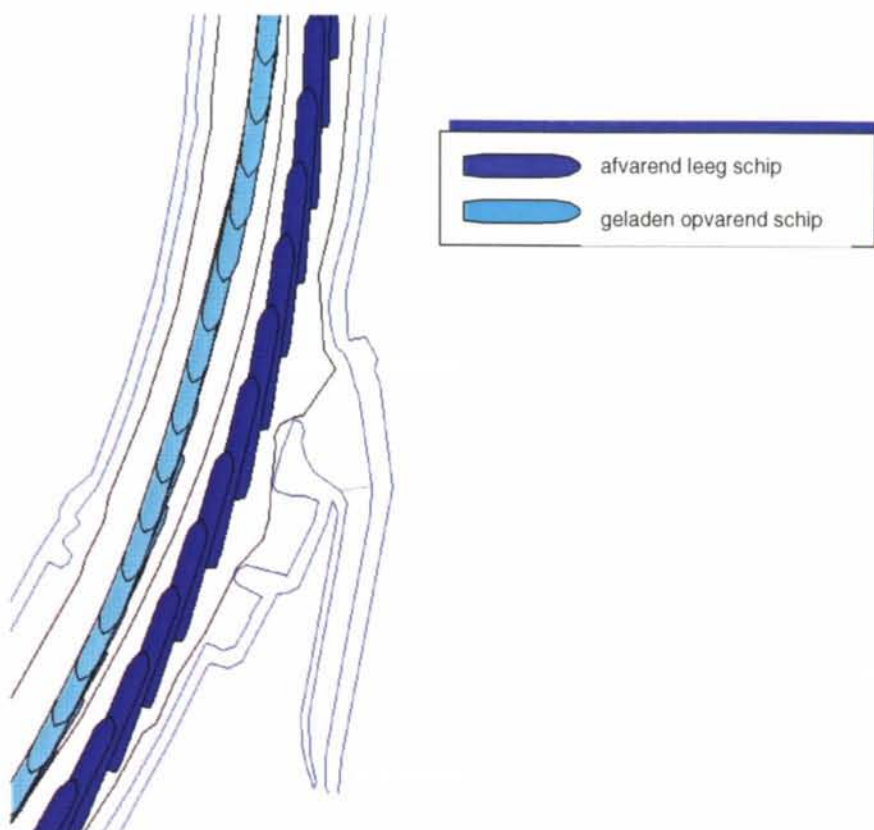
In de Figuren 6.13, 6.14, 6.15 zijn voorbeelden gegeven van een ontmoeting in respectievelijk de huidige situatie, de verruimde variant en de verbrede variant.



Figuur 6.13 Ontmoeting bocht 7, huidige situatie



Figuur 6.14 Ontmoeting bocht 7, verruimde variant



Figuur 6.15 Ontmoeting bocht 7, verbrede variant

6.3 Effecten van de diepgang van het ongeladen schip en boegschroefgebruik

Bij de aanvang van het voorliggende project is vastgesteld dat de simulaties zouden worden uitgevoerd met behulp van bestaande modellen. Dat dit uitgangspunt beperkingen met zich mee zou brengen t.a.v. van de resultaten is door de opdrachtgever geaccepteerd omdat in het kader van dit project qua tijd en financiën geen grote ontwikkelingen mogelijk waren. De beperkingen t.a.v. het model van het geladen schip zijn al in paragraaf 4.6, 'Modellering van de maatgevende schepen', besproken. De beperkingen van het gebruik van het bestaande model van het ongeladen Klasse Va schip worden hierna toegelicht en geanalyseerd.

Het in de simulator gebruikte model van het ongeladen Klasse Va schip heeft een vrij grote diepgang van 1.42 m (zie paragraaf 4.6). Hierdoor zal de padbreedte in bochten en t.g.v. dwarswind kleiner zijn dan de padbreedte van een echt leeg schip in de praktijk. Deze constatering is door de schippers tijdens het simulatorexperiment bevestigd. De schippers vonden dat het gesimuleerde schip bij het varen van bochten minder drift (dus minder padbreedte) had dan ze gewend waren van een leeg schip in de praktijk. Dit verschil tussen simulator en praktijk heeft bij de schippers, volgens hun eigen mening, niet tot een onrealistisch gevoel geleid. Ze beschouwden het schip als gedeeltelijk geladen met de daarbij behorende realistische manoeuvreereigenschappen.

Om een schatting te kunnen maken van de effecten van dit diepgangsverschil op de padbreedte zijn een aantal ware grootte proeven met lege Klasse Va schepen vergeleken met de manoeuvreereigenschappen van het in de simulator gebruikte model. In tabel 6.2 zijn de gegevens van een aantal proeven met twee schepen en het model opgenomen. Een aantal grootheden van de gemeten schepen en proeven zijn niet bekend of onbetrouwbaar (cursieve getallen).

	dimensie	proef no.						
		simulatie	Der4b01	Der4b02	Der4b03	Der4b04	Jar1401	Jar1001
lengte	[m]	108.34	110.00	110.00	110.00	110.00	105.00	105.00
breedte	[m]	11.40	11.40	11.40	11.40	11.40	9.50	9.50
Diepgang voor	[m]	0.67	0.60	0.60	0.60	0.60	<i>0.40</i>	<i>0.40</i>
Diepgang achter	[m]	2.17	1.31	1.31	1.31	1.31	<i>1.0</i>	<i>1.0</i>
roerhoek	[°]	20	<i>20</i>	<i>20</i>	<i>55</i>	<i>55</i>	22	51
Langssnelheid (u)	[m/s]	2.83	1.20	0.90	1.70	1.50	2.40	0.40
Driftsnelheid (v)	[m/s]	0.53	1.20	1.60	1.50	1.80	1.25	1.50
Giersnelheid (r)	[°/s]	0.85	1.00	0.83	1.10	0.95	0.75	0.75
Dimensieloze giersnelheid (γ)		0.56	1.13	0.87	0.93	0.78	0.51	0.89
Bochtstraal (R)	[m]	193.40	97.24	126.28	118.10	141.32	206.74	118.60
Drifthoek (β)	[°]	10.59	45.00	60.65	41.43	50.20	27.51	75.07
γ / β		3.03	1.44	0.82	1.29	0.89	1.06	0.68

Tabel 6.2: Gegevens van gesimuleerde en van gemeten draaicirkels

Uit deze proeven zijn de bochtstraal, de dimensieloze giersnelheid en de drifthoek berekend. In theorie geldt voor kleinere roerhoeken (tot 20°) een lineaire relatie tussen de dimensieloze giersnelheid en de drifthoek. Door deze verhouding voor drie proeven (Der4b01, Der4b02 en Jar1401) met vermoedelijk ongeveer 20° roerhoek, te middelen, blijkt dat deze drie proeven bij een zelfde dimensieloze giersnelheid een 2.7 keer zo grote drifthoek geven. Dit heeft voor de padbreedte bij dwarswind en in bochten, zonder gebruik te maken van een effectieve boegschroef, nogal grote gevolgen.

Bij het varen van een bocht met een bepaalde bochtstraal, is het voor de padbreedte van belang met welke drifthoek een schip vaart of kan varen (met behulp van boegschroef). Bij gematigde bochten, zoals op de IJssel voorkomen, is de daarbij gebruikte roerhoek niet direct van belang. Er wordt vanuit gegaan dat de minimale bochtstraal van ongeveer 400 m door elk Klasse Va schip te bereiken is zonder grote roerhoeken te gebruiken. Volgens de bovenbeschreven methode (constante verhouding van dimensieloze giersnelheid en drifthoek) zou het in de simulator gebruikte model op stil water in een bocht van 400 m een drifthoek van 5.1 ° hebben. Dit komt neer op een padbreedte van 21.5 m. Voor een zelfde bochtstraal zou de geschatte drifthoek van de gemeten lege schepen uitkomen op $2.7 \times 5.1^\circ = 13.8^\circ$. De padbreedte zou dan 37.5 m in deze bocht worden. In een voorstroomse situatie zou deze situatie nog ongunstiger zijn.

Indien het onderhavige onderzoek zou zijn uitgevoerd met het manoeuvreermodel van een echt leeg schip, zou (zonder gebruik van de boegschroef) de padbreedte van het lege schip tenminste 16 m (schatting) breder zijn geworden. Voor de bepaling van de benodigde breedte van de vaargeul in het onderzochte traject van de IJssel zou dit grote gevolgen hebben gehad. Het is echter niet realistisch om het vaargedrag van de schippers tijdens het onderzoek (weinig gebruik van boegschroef) te vertalen naar het varen met een echt leeg schip. Gezien het feit dat er weinig spreiding was in de gevaren banen en in de padbreedte is aan te nemen dat de schippers over het algemeen de actuele padbreedte goed kunnen inschatten, ook in de simulator. Het is daarom te verwachten dat de schippers, door een goed gebruik van de boegschroef, de padbreedte ook bij het echt lege schip weten te beperken om ontmoetingen mogelijk te maken. Dit wordt ondersteund door het feit dat er bij enkele vaarten op de simulator, door gebruik van boegschroef, een padbreedte in de bochten is gerealiseerd die vrijwel gelijk was aan de minimale padbreedte die tijdens de fast-time simulaties is gevonden voor een vaarten met minimale drift door optimaal boegschroef gebruik.

Invloed van het model van de boegschroef dat tijdens de simulaties is gebruikt

Om een indruk te krijgen van de mogelijkheden van boegschroefgebruik bij hogere vaarsnelheden is de effectiviteit van het, door MARIN/MSCN gebruikte boegschroefmodel (zie paragrafen 4.6 en 5.2) bij hogere vaarsnelheden onderzocht. Hiervoor is een fast-time run uitgevoerd met het ongeladen (gemiddelde diepgang 1.42 m, waterverplaatsing 1393 ton) model bij een snelheid van 11 km/uur¹⁰ door het water. Hieruit bleek dat er een boegschroefkracht van 25 kN en 8 graden tegenroer benodigd waren voor de afvaart met een minimale padbreedte (varen zonder drift). Bij deze snelheid zou de, in de simulator gebruikte modellering van de boegschroef met een vermogen van 295 kW een kracht kunnen leveren van 21.7 kN. In de simulator zou er dan met deze snelheid nog enige drift optreden, maar zeker niet een padbreedte van 27.8 m (zie fast-time run nr. 10).

Een echt leeg schip met b.v. een gemiddelde diepgang van 0.90 m en een waterverplaatsing 850 ton (schatting) zal in principe een kleinere boegschroefkracht nodig hebben om zonder drift te kunnen varen. Dit wordt geïllustreerd door fast-time runs nr. 6 en 12, beiden in een 400 m bocht, te vergelijken:

- Run nr. 6: afvarend geladen schip (waterverplaatsing 4086 ton), snelheid door het water 7 km/uur, benodigde boegschroefkracht 50 kN;
- Run nr. 12: afvarend ongeladen schip (waterverplaatsing 1393 ton), snelheid door het water 7 km/uur, benodigde boegschroefkracht 12 kN.

De benodigde boegschroefkracht is kleiner naarmate de waterverplaatsing afneemt (het in de bocht houden van een lichter schip kost minder kracht) en tevens is er minder giermoment nodig om een ondieper schip te doen draaien. Het is daarom aan te nemen dat een leeg schip met een boegschroefvermogen van 295 kW de padbreedte in de praktijk kan verminderen tot de tijdens de simulaties bereikte padbreedten van het ongeladen model.

¹⁰ 11 km/uur is de snelheid door het water die veelal voorkwam bij het varen van de 400 m bochten.

Bij bovenstaande beschouwing dient echter enerzijds wel rekening te worden gehouden met het feit dat een boegschroef niet verplicht is en indien wel aanwezig, niet altijd effectief bij hogere snelheden. De vaarweg is daarmee in principe niet geschikt voor de ontmoetingen, zoals deze tijdens de simulaties zijn onderzocht. Anderzijds blijken in de praktijk veel Klasse Va schepen te zijn uitgerust met een effectieve boegschroef.

7 MARGES

In algemene termen zijn de effecten op de marges van de verschillende onderscheiden variabelen zoals bochtstraal, vaargeulbreedte en ervaring van de schipper (Ijsselschipper/niet-Ijsselschipper) in kaart gebracht door TNO-TM [11]. Voor de volledigheid geven we hier puntsgewijs de samenvattende conclusies:

- *Effecten van verruiming*
 - De minimale passeerafstand tussen schepen neemt nauwelijks toe bij verbreding van de vaargeul (respectievelijk 7.31, 8.31, 9.89 m).
 - De marges tot de vaargeulbegrenzing die de afvarende schipper hanteert nemen vooral toe in de verbrede variant (respectievelijk 10.29, 11.22, 16.22 m). De marges tot de oever vertonen eenzelfde patroon.
 - De opvarende schipper vaart dicht op de oever in de verruimde variant (met marge van 15.53 m) in vergelijking met de huidige situatie (17.64 m). Kennelijk geeft de opvarende schipper de afvarende schipper meer ruimte wanneer hij als gevolg van het baggeren dicht op de oever kan varen. In de verbrede variant neemt die marge weer toe (17.90 m).
 - Een veilige en vlotte vaart zal gebaat zijn bij het baggeren in bepaalde knelpunten, met name in (de toch al smallere) scherpe bochten.
- *Algemeen vaststellen van kleinste mogelijke marges*
 - Bij ongeveer 6 meter passeerafstand hebben schippers voldoende vertrouwen in een goede afloop van de ontmoeting; indien ruimte beschikbaar is wordt een scheepsbreedte aangehouden.
 - In scherpe bochten is de passeerafstand zo'n 3 meter kleiner dan in flauwe bochten.
 - De marge tot de vaargeulbegrenzing die de afvarende schipper hanteert is zo'n 5 meter kleiner in scherpe (buiten-)bochten dan in flauwe (buiten-)bochten; bij de opvarende schipper is dat verschil kleiner.
 - Padbreedte van het afvarende lege schip is groter in scherpe bochten dan in flauwe bochten, maar wordt niet groter met een toename met vaargeulbreedte.
 - Let wel: in dit experiment was de vaargeulbreedte in flauwe bochten in het algemeen 10 meter groter dan in scherpe bochten.
- *Ijsselschippers versus niet-Ijsselschippers*
 - In vergelijking met Ijsselschippers realiseren niet-Ijsselschippers een grotere padbreedte (respectievelijk 22.7 en 23.9 m) en een kleinere marge tot de vaargeulbegrenzing (14.22 en 10.93 m) en oever (19.82 en 16.62 m).
 - Niet-Ijsselschippers komen vaker dichtbij de recreatievaarder.
- *Inspanning en werklast*
 - Dit simulatorexperiment leverde geen aanwijzingen op dat mentale belasting bij ontmoetingen in de bocht met de huidige breedte van de IJssel onacceptabel hoog is.
 - Vaargeulverbreding brengt geen wezenlijke verlaging teweeg van deze mentale belasting
 - Mentale belasting is hoger in scherpe bochten dan in flauwe bochten.

Om de gehanteerde marges verder te kwantificeren zijn, in aanvulling op de analyses zoals uitgevoerd door TNO-TM [11], de runs gegroepeerd per bocht en zijn een aantal variabelen opnieuw geanalyseerd. Voor de volledigheid volgt hieronder nogmaals de definitie van de locatie en periode van een ontmoeting en de definitie van de belangrijkste variabelen die in de aanvullende analyse gebruikt zijn.

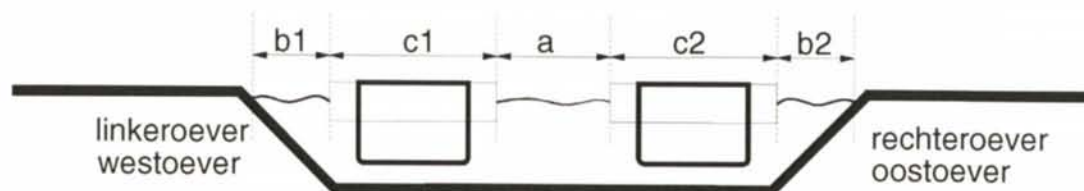
Voor het bepalen van de gerealiseerde marges wordt de locatie en de periode van ontmoeting als volgt gedefinieerd. De locatie van de ontmoeting is het punt langs de vaarwegas waarop de loodrecht geprojecteerde zwaartepunten van de schepen samenvallen. De periode van de ontmoeting, die ongeveer 40 seconden duurt, start op het moment dat het afvarende schip zich één scheepslengte voor dat punt bevindt en duurt tot een halve scheepslengte na dat punt. Over deze periode zijn de gegevens elke .9 seconden opgeslagen. Voor kwantificering van de van de gehanteerde marges zijn over de periode van de ontmoeting de volgende afhankelijke variabelen, bepaald:

1. kleinste marge tot het andere schip;
2. kleinste marge tot de oever (voor beide schepen);
3. de gemiddelde padbreedte van beide schepen.

Gekozen is om voor de aanvullende analyse alleen de hierboven genoemde marge tot de oever te analyseren. Dit is de voor de schipper zichtbare grens tussen land en water. Door de kleinste marge tot de oever te nemen over de periode van de ontmoeting wordt de smalste strook bepaald tussen schip en waterlijn gemeten over de kribkoppen. Dit is bij benadering de smalste strook tussen schip en de normaallijn¹¹. Er is voor gekozen om de gemiddelde padbreedte over de periode van de ontmoeting als analysevariabele te gebruiken. Dit is gedaan in de veronderstelling dat de maxima (en ook de minima) van de padbreedtes van de beide schepen niet op dezelfde plaats (t.o.v. de vaarwegas) bereikt worden. In dat geval geeft het gemiddelde de beste schatting van het gezamenlijke ruimtebeslag.

In de onderstaande figuur zijn de gebruikte variabelen gedefinieerd. Hierin zijn:

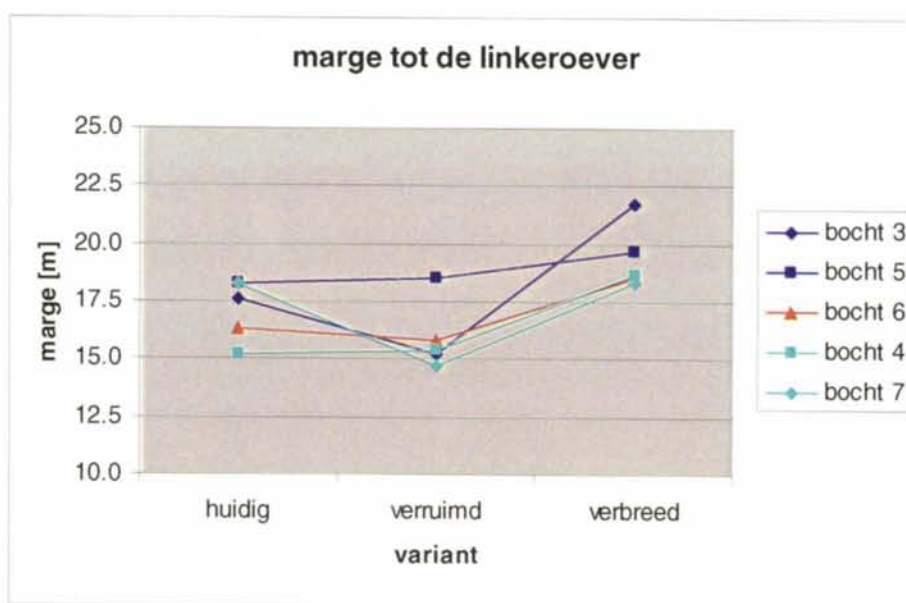
- b: de minimale marges tot de linkeroever en de rechteroever;
- c: de gemiddelde padbreedtes van de beide schepen;
- a: de kleinste passeerafstand tussen de schepen.



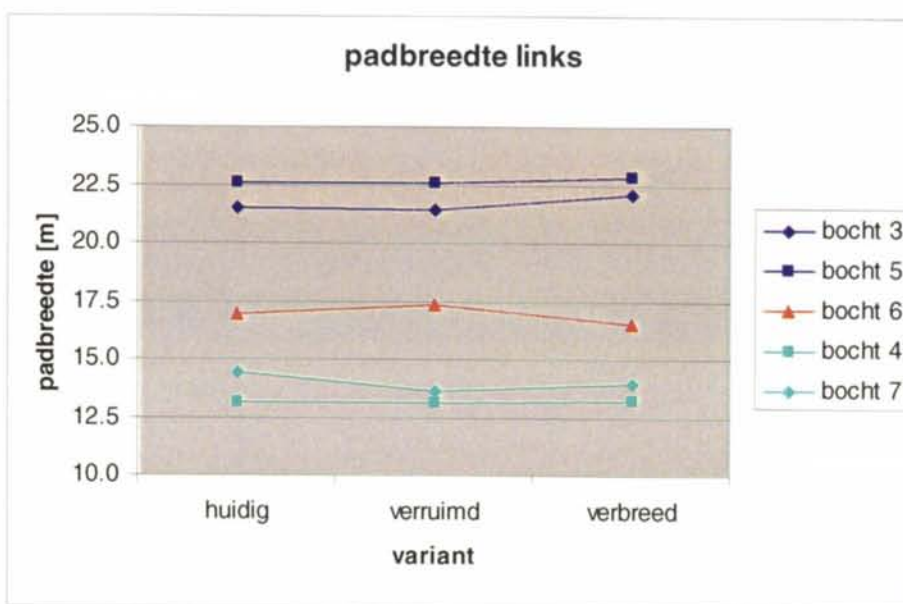
Figuur 7.1 Definitie van de marges

¹¹ De normaallijn is voor de IJssel gedefinieerd voor een MGD 3.00 m en een afvoer van 250 m³/s. In de simulatiestudie is een MGD 2.80 m en afvoer van 240 m³/s gebruikt.

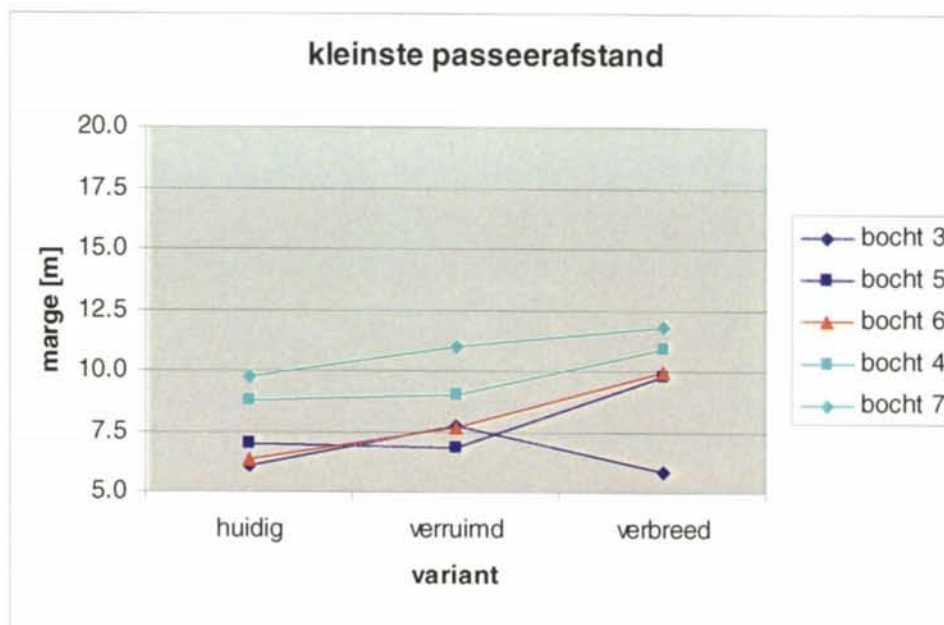
Voor de verdere analyse zijn alle runs per bocht en per breedtevariant gegroepeerd. Hierbij is geen onderscheid meer gemaakt naar proefpersoon (Ijsselschipper of niet-Ijsselschipper) of soort ontmoeting (interactief of voorgeprogrammeerd). Per groep is het gemiddelde van de hierboven beschreven variabelen bepaald. De resultaten staan in figuren 7.1 t/m 7.5. De numerieke resultaten staan per bocht in de tabellen aan het eind van de tekst. Hierbij zijn bocht 3 en 5 de scherpe bochten naar rechts, waarbij het lege afvarende schip aan de linkeroever vaart. Bocht 6 is de scherpe bocht naar links. Bocht 4 en 7 zijn de flauwe bochten naar links. In de laatste drie gevallen vaart het afvarende lege schip aan de (eigen) rechteroever.



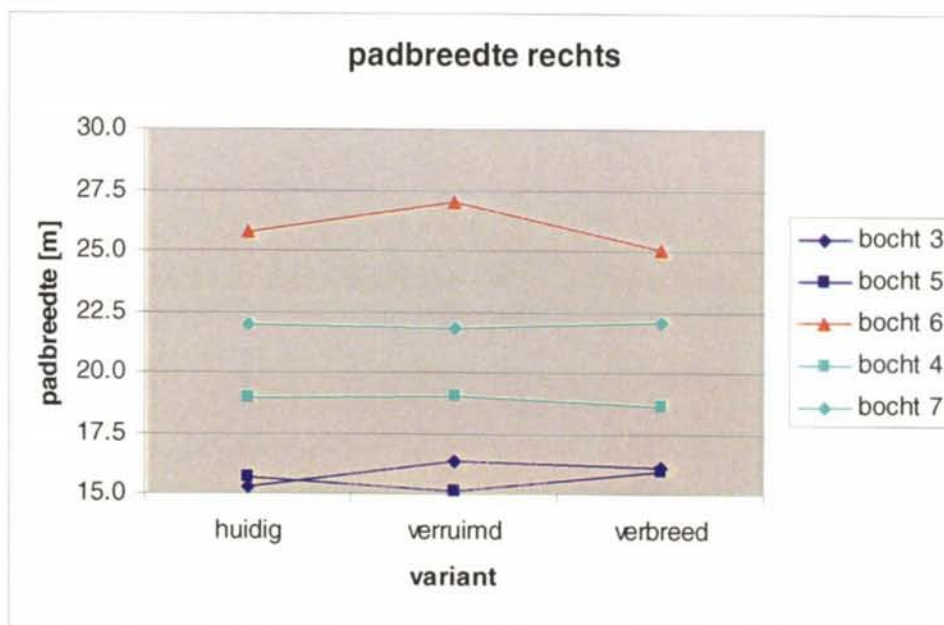
Figuur 7.2 Marges tot de linkeroever



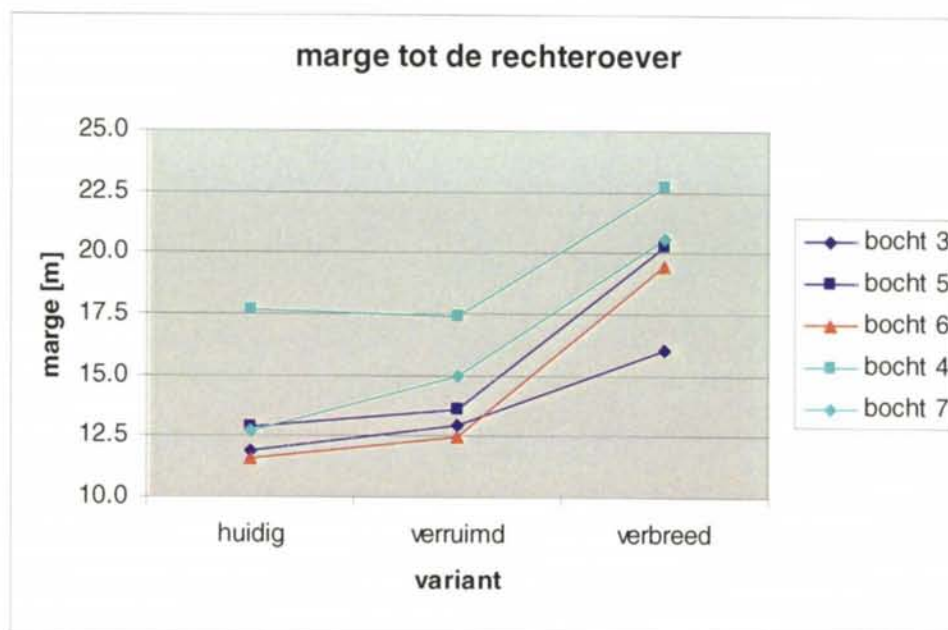
Figuur 7.3 Padbreedtes van de schepen aan de linkeroever



Figuur 7.4 Onderlinge marges van de schepen



Figuur 7.5 Padbreedtes van de schepen aan de rechtoever



Figuur 7.6 Marges tot de rechteroever

In de figuren valt het volgende op:

- Bij de overgang van huidig naar verruimd verandert de marge naar de linkeroever in de bochten 4, 5 en 6 nauwelijks. In bocht 3 en 7 is een afname te zien van ca. 18 m naar ca. 15 m. Wat in deze bochten aan de linkeroever aan marge ingeleverd wordt, komt er aan de rechteroever aan marge bij;
- Bij de overgang van verruimd naar verbreed neemt de marge tot de linkeroever zichtbaar toe (met ca. 3 tot 4 m);
- De padbreedtes van de schepen zijn over de breedtevarianten (huidig, verruimd en verbreed) min of meer constant en worden met name bepaald door de fysische mogelijkheden van de schepen. De gemiddelde padbreedte van het lege afvarende schip in de scherpe bochten 3 en 5 is 22.2 m. De gemiddelde padbreedte van het lege schip in de scherpe bocht 6 is 25.9 m. De padbreedte van het lege schip in de flauwe bochten 4 en 7 is respectievelijk 18.9 m en 22.0 m. De padbreedte van het geladen schip in de scherpe bochten 3 en 5 is 15.8 m, in bocht 6 16.9 en in bocht 4 en 7 13.5 m;
- Met uitzondering van bocht 6 laat de overgang van huidig naar verruimd geen significante verandering zien in de onderlinge marge. Het gemiddelde van de onderlinge marge in de scherpe bocht is 6.6 m. Bocht 6 in de verruimde versie laat een onderlinge marge van 7.6 m zien. In de verruimde variant kunnen de opvarende geladen schepen een vloeiender lijn in de binnenbocht volgen en daarmee een duidelijk ruimere onderlinge marge realiseren. Voor de scherpe bochten 5 en 6 ligt de onderlinge marge in de verbrede versie duidelijk hoger en komt in de buurt van de marge voor de flauwe bochten 4 en 7. De gemiddelde marge voor de bochten 5 en 6 in de verruimde variant is 7.2 m. In de verbrede variant is de gemiddelde marge in dezelfde bochten 9.9 m;

- Bij de overgang van de huidige situatie naar de verruimde variant is er voor de bochten 4, 5 en 6 geen grote verandering te zien in de marge naar de rechteroever. Bij bocht 3 en 7 wordt de marge duidelijk groter. De ruimte die aan de linkeroever ingeleverd is komt hiererbij. In alle bochten wordt de marge tot de rechteroever in de verbrede variant duidelijk groter. In de bochten 4, 5, 6 en 7 is zelf sprake van een gemiddelde toename van 5.9 m (van 14.8 m naar 20.7 m);
- In de krappe rechterbocht (Tabel 7.1) is de marge tot de linkeroever (buitenbocht) groter dan tot de rechteroever (binnenbocht). In de vergelijkbare linkerbocht (Tabel 7.3) is de marge in de buitenbocht (rechts) echter kleiner dan in de binnenbocht (links). In de huidige situatie wordt dat veroorzaakt door de ondiepte in de binnenbocht. Het geladen schip passeert vlak langs de boei. In de verruimde variant is de ondiepte verwijderd en snijdt het geladen schip de binnenbocht weliswaar beter aan, maar toch wordt de extra ruimte slechts in geringe mate benut.

Deze resultaten ondersteunen deels de eerdere conclusies van TNO-TM en zijn deels een aanvulling hierop. Kleine verschillen in de numerieke resultaten worden veroorzaakt door een aangepaste groepering van runs voor de aanvullende analyses. Voor het bepalen van de marges in de aanvullende analyses zijn ook de marges zoals gerealiseerd door het voorgeprogrammeerde schip meegenomen.

De resultaten staan per bocht samengevat in de onderstaande tabellen.

	Bocht 3 ($r = 400$ m)		
	huidig	verruimd	verbreed
marge tot de linkeroever b1 [m]	17.6	15.2	21.7
padbreedte links c1 [m]	21.5	21.4	22.0
onderlinge marge a [m]	6.1	7.7	5.8
padbreedte rechts c2 [m]	15.2	16.3	16.1
marge tot de rechteroever b2 [m]	11.8	12.9	16.1
Totaal [m]	72.2	73.5	81.7

Tabel 7.1 Marges bocht 3 ($R = 400$ m)

	Bocht 5 ($r = 550$ m)		
	huidig	verruimd	verbreed
marge tot de linkeroever b1 [m]	18.2	18.5	19.7
padbreedte links c1 [m]	22.6	22.5	22.8
onderlinge marge a [m]	7.0	6.8	9.8
padbreedte rechts c2 [m]	15.7	15.1	15.9
marge tot de rechteroever b2 [m]	12.9	13.6	20.2
Totaal [m]	76.3	76.5	88.4

Tabel 7.2 Marges bocht 5 ($R = 550$ m)

	Bocht 6 (r = 400 m)		
	huidig	verruimd	verbreed
marge tot de linkeroever b1 [m]	16.2	15.8	18.5
padbreedte links c1 [m]	16.9	17.3	16.5
onderlinge marge a [m]	6.3	7.6	9.9
padbreedte rechts c2 [m]	25.8	26.9	25.0
marge tot de rechteroever b2 [m]	11.6	12.5	19.4
Totaal [m]	76.7	80.1	89.3

Tabel 7.3 Marges bocht 6 (R = 400 m)

	Bocht 4 (r = 1000 m)		
	huidig	verruimd	verbreed
marge tot de linkeroever b1 [m]	15.2	15.4	18.7
padbreedte links c1 [m]	13.1	13.1	13.2
onderlinge marge a [m]	8.7	9.1	10.9
padbreedte rechts c2 [m]	19.0	19.0	18.6
marge tot de rechteroever b2 [m]	17.6	17.4	22.7
Totaal [m]	73.6	74.0	84.1

Tabel 7.4 Marges bocht 4 (R = 1000 m)

	Bocht 7 (r = 1000 m)		
	huidig	verruimd	verbreed
marge tot de linkeroever b1 [m]	18.2	14.7	18.3
padbreedte links c1 [m]	14.4	13.6	13.9
onderlinge marge a [m]	9.7	11.0	11.8
padbreedte rechts c2 [m]	22.0	21.8	22.0
marge tot de rechteroever b2 [m]	12.7	15.0	20.6
Totaal [m]	77.0	76.1	86.7

Tabel 7.5 Marges bocht 7 (R = 1000 m)

8 CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN

Het resultaat van de studie wordt samengevat in conclusies naar aanleiding van de numerieke resultaten, een aantal algemene conclusies en aanbevelingen.

Conclusies naar aanleiding van de numerieke resultaten

In de huidige situatie kunnen ontmoetingen plaatsvinden, maar hebben enkele simulaties in de krappe bochten (3 en 6) geleid tot onacceptabele situaties.

De onderlinge marge bij een verbreding van de vaargeul neemt nauwelijks toe als de schippers in de smalste variant al een onderlinge marge van 9 tot 10 m kunnen realiseren. Als, zoals in de scherpe bochten het geval is, in de smalste variant een kleinere onderlinge marge gehanteerd wordt (ca. 7 m), dan is er wel een effect van de verbreding zichtbaar. De scherpe bochten laten zien dat, als de ruimte beschikbaar is, een marge van ongeveer 10 m aangehouden wordt. Overigens laten de resultaten van de werklasmetingen zien dat ook in de scherpe bochten in de huidige situatie de mentale belasting niet onacceptabel hoog is. Wel is de mentale belasting hoger in krappe bochten.

Zoals te verwachten was veranderen de padbreedtes van de schepen niet bij verbreding van de vaarweg.

Verruiming van de vaarweg (baggeren van ondiepe gedeelten) resulteert niet in een significante verandering van de marges. Met name het opvarende schip vaart een meer vloeiende lijn en realiseert daarmee een iets kleinere marge ten opzichte van de oever.

De verbreding van de vaarweg resulteert vooral in een vergroting van de marges tot de oever. De marge tot de linkeroever wordt met 3 – 4 m vergroot en de marge tot de rechteroever met 5 – 6 m.

Gemiddeld over alle bochten hanteert het lege schip in de huidige situatie een marge tot de oever van 15.5 m, in de verruimde variant een marge van 15.9 m en in de verbrede variant een marge van 20.8 m.

Gemiddeld over alle bochten hanteert het geladen schip in de huidige situatie een marge tot de oever van 14.9 m, in de verruimde variant een marge van 14.7 m en in de verbrede variant een marge van 18.4 m. Opvallend is hier dat in de verruimde variant het geladen schip de binnenbocht scherper aansnijdt om meer ruimte te geven aan het ongeladen schip. De marge neemt daardoor af.

De onderlinge marge gemiddeld over alle bochten is in de huidige situatie 7.6 m, in de verruimde variant 8.2 m en in de verbrede variant 9.6 m.

De 10 m verbreding van de vaarweg wordt gebruikt om de marge van het lege schip tot de oever te vergroten met 4.9 m, de marge van het geladen schip tot de oever met 3.7 m en in veel mindere mate de onderlinge marge met 1.4 m.

In vergelijking met IJsselschippers realiseren niet-IJsselschippers een grotere padbreedte (respectievelijk 22.7 m en 23.9 m) en een kleinere marge tot de oever (respectievelijk 19.8 m en 16.6 m). Dit komt onder andere doordat IJsselschippers vaker de boegschroef inzetten tijdens de ontmoeting.

Algemene conclusies

Ongeladen schip

In de krappe buitenbochten kan de schipper van het ongeladen schip de baan tijdens de ontmoeting nauwelijks strekken om de padbreedte te verminderen omdat hij anders na de ontmoeting te snel in de wal zou lopen. In een aantal individuele vaarten heeft dit in de huidige situatie geleid tot onacceptabele situaties. In de verruimde variant is dit door het wegbaggeren van de ondieptes in de binnenbochten iets verbeterd, maar blijft de situatie krap. In de verbrede variant geeft het geen aanleiding tot problemen.

In alle varianten gaat het ongeladen schip over het algemeen (te) laat naar de buitenbocht waardoor tijdens en vooral na de ontmoeting een grote giersnelheid en dito padbreedte nodig is om weer naar het midden van het vaarwater te komen.

Geladen schip

In de binnenbochten kan de schipper van het geladen schip in de verruimde en verbrede variant de baan tijdens de ontmoeting tijdelijk goed strekken om de padbreedte te verminderen. Voor en na de ontmoeting heeft hij over het algemeen voldoende ruimte om dit te compenseren.

Boegschroefgebruik

Het gebruik van een boegschroef van het lege schip heeft in een aantal individuele vaarten, vooral in de krappe bochten, geleid tot een aanzienlijke verkleining van de padbreedte. Uit de algemene resultaten is dit echter niet af te leiden omdat de spreiding over de vaarten dit effect versluiert.

Voor een echt leeg schip, zoals beschreven in paragraaf 6.3 zal het gebruik van een boegschroef essentieel zijn in krappe bochten en/of met meer wind.

Aanbevelingen

De schippers gebruiken logischer wijze de oevercontouren om hun positie in de rivier te schatten. Het is daarom aan te bevelen om de bodemcontouren evenwijdig aan deze oevercontouren te laten lopen, zodat de schippers niet verrast worden door ondiepten die de rivier in steken. Dit heeft in de bochten ook het voordeel dat de giersnelheid, en daarmee drift en padbreedte, zo laag mogelijk zijn.

Om meer zekerheid te krijgen over de padbreedte van lege schepen in de praktijk met en zonder boegschroefgebruik, zullen er betrouwbare mathematische modellen van deze schepen moeten worden ontwikkeld.

Zolang deze modellen ontbreken, zullen ware grootte proeven moeten worden uitgevoerd om een schatting van de padbreedte van lege schepen te kunnen maken.

Hoewel training van binnenvaartschippers voor specifieke manoeuvreersituaties niet snel zal gebeuren is het wel aan te bevelen om voor de bochten in de IJssel een optimale vaarstrategie te ontwikkelen en de kennis daarover op de schippers over te brengen.

Hoewel training van binnenvaartschippers voor specifieke manoeuvreersituaties niet snel zal gebeuren is het wel aan te bevelen om voor de bochten in de IJssel een optimale vaarstrategie te ontwikkelen en de kennis daarover op de schippers over te brengen.

9 REFERENTIES

- [1] Vooronderzoek Planstudie Boven-IJssel, Rapport Nr. 17042.600/1 FASE 1, december 2001.
- [2] Verslag kick-off bespreking Planstudie Boven IJssel, 17042.1/01/FV/23082, 1 november 2001.
- [3] Bodemveld, file 'PRESENT.OUT', aangeleverd door opdrachtgever volgens memo d.d. 20-11-01.
- [4] Afvoerverdeling IJsselkop, Werkdocument versie 1.0, Ministerie van Verkeer en Waterstaat, Directoraat-Generaal Rijkswaterstaat, Directie Oost-Nederland, 9 november 2001.
- [5] Stroomveld voor afvoer 250 m³/sec, file 'IJssel250.doc' en 'waqua-results', aangeleverd door opdrachtgever volgens memo d.d. 20-11-01.
- [6] Padbreedte van schepen in rivierbochten; betrekking voor de drifthoek op grond van modelresultaten, Delft Hydraulics M1240 – IV, maart 1979.
- [7] Verkenning IJssel, Ministerie van Verkeer en Waterstaat, Directoraat-Generaal Rijkswaterstaat, Directie Oost-Nederland, augustus 1999.
- [8] Technische Anforderungen an das Vortbewegen von Binnenschiffen mit Bugsteueranlagen, Bericht 1536, VBD, november 1999.
- [9] ACAD-files R33gn, R33gz, R33hn en R33hz, aangeleverd door opdrachtgever.
- [10] Voorontwerp simulaties Planstudie Boven-IJssel, Rapport Nr. 17042.600/1 FASE 2, december 2001.
- [11] TNO-TM, Varen met kleine marges op de IJssel: een simulator experiment, februari 2002.
- [12] P.A. Kluytenaar, Planstudie IJssel, deelstudie IJsselgebruiken, juli 2002 .
- [13] Voorontwerp simulaties Planstudie Boven-IJssel, Rapport Nr. 17042.600/1 FASE 3, december 2001.

BIJLAGE H

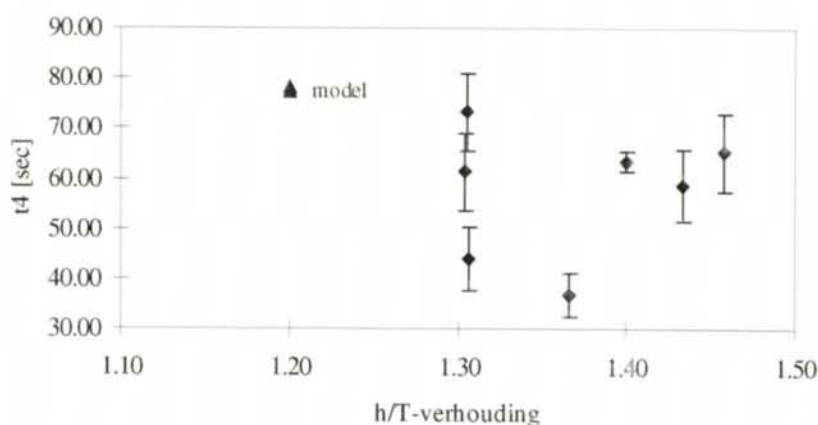
VERGELIJKING KLASSE VA SCHEPEN

BIJLAGE H

VERGELIJKING KLASSE VA SCHEPEN

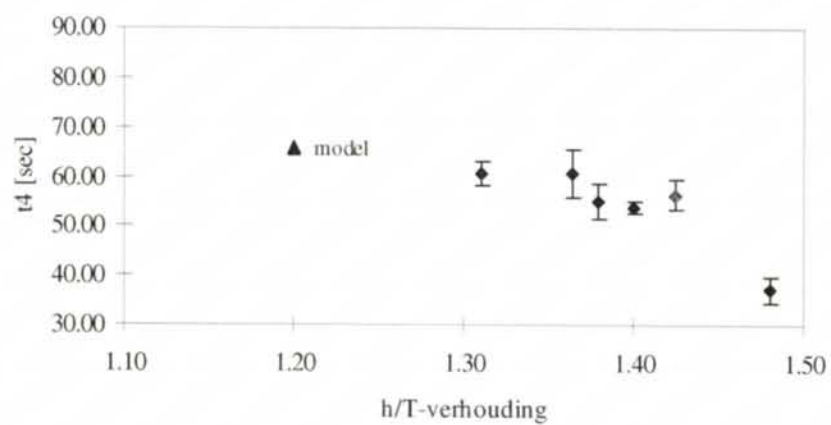
In de afgelopen jaren zijn voor een aantal schepen, waaronder geladen CEMT Klasse Va schepen, een groot aantal draaisnelheidsproeven uitgevoerd. Dit is een zig-zag proef waarbij voor het verleggen van het roer niet de koershoek, maar de draaisnelheid als criterium gebruikt wordt. Bij de uitvoering van de proef zijn de uitwijkingen uit de oorspronkelijke baan slechts klein. Dit maakt de proef geschikt voor uitvoering op vaarwater met beperkte breedte. Het tijdstip waarop de draaisnelheid voor de tweede maal door nul gaat (de t4-waarde) wordt als maat voor de manoeuvreervermogen van het schip gebruikt. Ter validatie zijn met het model van het geladen Klasse Va schip draaisnelheidsproeven gesimuleerd. De resultaten van de simulaties zijn opgenomen in bijlage G. De t4-waarde van het model is vergeleken met beschikbare resultaten van ware grootte metingen aan geladen Klasse Va schepen. De resultaten staan samengevat in de onderstaande figuren. Van het model is het resultaat van de draaisnelheidsproef naar stuurboord en bakboord weergegeven. Van de ware grootte metingen zijn per schip het gemiddelde en de standaarddeviatie voor de t4-waarde weergegeven. De t4-waarde van het model wijkt niet significant af van de ware grootte resultaten.

t4-waarden klasse Va schepen (1996 - 1998)
20/20 draaisnelheidsproef



Figuur H.1 Vergelijking uitkomst 20/20 draaisnelheidsproef

t4-waarden klasse Va schepen (1996 - 1998)
45/28 draaisnelheidproef



Figuur H.2 Vergelijking uitkomst 45/28 draaisnelheidsproef