

Haven van Antwerpen Op- en afvaartregeling voor 8000 en meer TEU containerschepen bij een maximale diepgang van 145DM

PUBLIEK RAPPORT

689_04 WL Rapporten

**OP- EN AFVAARTREGELING VOOR 8000 EN MEER TEU
CONTAINERSCHEPEN TOT DE HAVEN VAN ANTWERPEN BIJ EEN
MAXIMALE DIEPGANG VAN 145DM**

PUBLIEK RAPPORT

door

ir. Jeroen VERWILLIGEN
Projectleider

prof. dr. ir. Marc VANTORRE
Gewoon hoogleraar Universiteit Gent
Promotor UGent

ONDERZOEKSPROJECT UGent 174C8905

WL MOD. 689_04 – BESTEK 16EB/05/06

In opdracht van

Vlaamse Overheid
Departement Mobiliteit en Openbare Werken
Waterbouwkundig Laboratorium
Leidend ambtenaar: Dr. ir. Katrien ELOOT

Haven van Antwerpen Op- en afvaartregeling voor 8000 en meer TEU containerschepen bij een maximale diepgang van 145DM

Publiek rapport

Verwilligen, J.; Vantorre M.; Eloot, K.; Mostaert F.

September 2008

WL2008R689_04_rev2_0

Deze publicatie dient als volgt geciteerd te worden:

Verwilligen, J.; Vantorre M.; Eloit, K.; Mostaert F. (2008). Haven van Antwerpen, Op- en afvaartregeling voor 8000 en meer TEU containerschepen. WL Rapporten, 689_04. Waterbouwkundig Laboratorium & Universiteit Gent: Borgerhout, België



Waterbouwkundig Laboratorium

Flanders Hydraulics Research

Berchemlei 115

B-2140 Antwerpen

Tel. +32 (0)3 224 60 35

Fax +32 (0)3 224 60 36

E-mail: waterbouwkundiglabo@vlaanderen.be

www.watlab.be

Niets uit deze uitgave mag worden verveelvoudigd en/of openbaar gemaakt door middel van druk, fotokopie, microfilm of op welke andere wijze ook zonder voorafgaandelijke schriftelijke toestemming van de uitgever.

Documentidentificatie

Titel:	Op- en afvaartregeling voor 8000 en meer TEU containerschepen tot de haven van Antwerpen bij een maximale diepgang van 145 dm. Publiek rapport.		
Opdrachtgever:	Afdeling Scheepvaartbegeleiding	Ref.:	WL2008R689_04_rev2_0
Keywords (3-5):	Op- en afvaart, containervaat, manoeuvreergedrag, squat, oevereffecten		
Tekst (p.):	34	Tabellen (p.):	
Bijlagen (p.):	1	Figuren (p.):	
Vertrouwelijk:	☐ Ja	Uitzondering:	☐ Opdrachtgever
			☐ Intern
			☐ Vlaamse overheid
		Vrijgegeven vanaf	
	☒ Nee		

Goedkeuring

Auteur Ir. Jeroen Verwilligen	Revisor Prof. Dr. ir. Marc Vantorre	Projectleider Dr. ir. Katrien Eloit	Afdelingshoofd Dr. Frank Mostaert
---	---	---	---

Revisies

Nr.	Datum	Omschrijving	Auteur
1_0	15/08/2008	Conceptversie	Jeroen Verwilligen
1_1	01/09/2008	Inhoudelijke revisie	Katrien Eloit, Marc Vantorre
1_2	15/09/2008	Revisie opdrachtgever	Kapitein Martin Mesuere
2_0	25/09/2008	Definitieve versie	Katrien Eloit, Marc Vantorre

Abstract

Dit rapport bevat een overzicht van de activiteiten met betrekking tot onderzoeksproject Mod. 689/4: op- en afvaartregeling voor 8000 en meer TEU containerschepen tot de haven van Antwerpen bij een maximale diepgang van 145 dm.

Het opzet van dit document is het verstrekken van een objectieve, wetenschappelijk gefundeerde evaluatie van de impact van de nieuwe generatie containerschepen tot de haven van Antwerpen.

Hiervoor werd een uitgebreid onderzoek opgestart naar squat, manoeuvreereigenschappen, schip-schip interactie en oeverzuiging. Dit liet toe op realistische wijze het gedrag van de onderzochte schepen in beperkte wateren (vb. Westerschelde) te modelleren.

De uiteindelijke modellering werd toegepast om het gedrag van de onderzochte schepen te evalueren aan de hand van deskstudies en real-time scenariovaarten op de scheepsmanoeuvresimulators van het Waterbouwkundig Laboratorium te Antwerpen.

INHOUDSOPGAVE

INHOUDSOPGAVE	i
LIJST VAN DE SYMBOLEN	iii
Lijst van de tabellen	iv
Lijst Van de figuren	v
1 Situering	1
1.1 Vraagstelling	1
1.2 Achtergrond	1
1.3 Opzet Mod. 689/4	2
1.4 Werkwijze	2
1.5 Begeleidingscommissie	2
2 Uitgevoerde onderzoek Mod. 689/4	3
2.1 Deelopdracht 1: Squat	3
2.1.1 Voorwaartse snelheid en schroefwerking	3
2.1.2 Drift- en gierbewegingen	4
2.1.3 Ander scheepvaartverkeer	4
2.1.4 Oevereffecten	4
2.2 Deelopdracht 2: Manoeuvreergedrag	4
2.2.1 Manoeuvreermodel scheepsmodel U	4
2.2.2 Mod. 804/2: Opgeschaalde schepen	5
2.2.3 Controle aan de hand van vrijvarende proeven	5
2.3 Deelopdracht 3: Oevereffecten	5
2.3.1 Mod. 778: Oevereffecten	6
2.3.2 Overgangsverschijnselen bij oevers	7
2.4 Deelopdracht 4: Scheepsinteractie	8
2.5 Deelopdracht 5: Evaluatie	10
2.5.1 Deskstudies	10
2.5.2 Real-time scenariovaarten	11
3 Resultaten	15
3.1 Evaluatie	15
3.1.1 Visualisatie ontmoetingen	15
3.1.2 Beoordeling op basis van cijfers	15
3.2 Kritieke locaties op de rivier	17
3.2.1 Bocht van Bath bij volle ebstroom	17
3.2.2 Bocht van Bath bij volle vloedstroom	18

3.2.3	Ballastplaat bij volle ebstroom	21
3.2.4	Ballastplaat bij volle vloedstroom.....	23
3.2.5	Europaterminal bij volle ebstroom	24
3.2.6	Europaterminal bij volle vloedstroom.....	26
3.3	Squatresultaten	28
3.4	Invloed scheepsafmetingen	29
3.4.1	Real-time simulaties	29
3.4.2	Deskstudie	30
4	Samenvatting en vervolg.....	32
	Referenties	34
	Bijlage: overzicht nevenonderzoeken.....	35

LIJST VAN DE SYMBOLEN

α	helling oever	[°]
B	scheepsbreedte	[m]
D	kenletter scheepsmodel D	[-]
F	kenletter scheepsmodel F	[-]
h	waterdiepte	[m]
h_0	hoogte verdrongen land	[m]
L_{OA}	scheepslengte over alles	[m]
L_{pp}	scheepslengte tussen de loodlijnen	[m]
n	schroeftoerental	[rps]
o	index eigenschap (own)	[m]
T	diepgang	[m]
τ	index vreemde schip (target)	[m]
TEU	twenty feet equivalent unit (container met afmetingen 20x8x8 ft of 6.1x2.43x2.43 m)	[-]
U	kenletter scheepsmodel U	[-]
u	langse scheepsnelheid	[m/s]
UKC	under keel clearance (kielspeling relatief ten opzichte van de diepgang)	[%]
Y_{bb}	dwarsafstand tussen de boorden van eigenschap en vreemd schip	[m]
y_{sub}	horizontale uitgestrektheid van het verdrongen land	[m]

LIJST VAN DE TABELLEN

Tabel 1: Hoofdafmetingen scheepsmodellen van containerschepen die het onderwerp vormden van het onderzoek naar squat en de condities waarbij deze beproefd werden (modelschaal).	3
Tabel 3: Onderzochte combinaties van diepgang en waterdiepte voor scheepsmodel U in het kader van Mod. 749.	4
Tabel 4 - Karakteristieken na opschaling van model U en gebaseerd op bestelde en gebouwde containerschepen van verschillende rederijen.	5
Tabel 5: Hellingen van de onderzochte surface piercing oevers (links) en verdronken land oevers (rechts).	7
Tabel 7: Hoofdafmetingen van de scheepsmodellen die het onderwerp vormden van Mod. 614.	9
Tabel 8: Onderzochte locatie en situaties bij de deskstudie van maart 2007.	11
Tabel 9: Berekening van het gecombineerde beoordelingscijfer op basis van tussenafstand, boeiafstand en golfhoogte.	16
Tabel 10: Invloed van scheepsafmetingen op basis van real-time simulaties.	30

LIJST VAN DE FIGUREN

Figuur 1: Overzicht van de invloedsfactoren op het scheepsgedrag van een schip varende in een beperkte vaaromgeving zoals de Westerschelde.	1
Figuur 2: Surface piercing oeverconfiguratie.....	6
Figuur 3: Verdronken land oeverconfiguratie	7
Figuur 4: Sleeptankconfiguratie voor geleidelijke veranderingen van de oeverconfiguratie.....	8
Figuur 5: Sleeptankconfiguratie voor het onderzoek naar bruuske oeververanderingen.	8
Figuur 6: Sleeptankconfiguratie voor interactieproeven.....	9
Figuur 7: Onderzochte locaties bij de deskstudie van maart 2007.	11
Figuur 8: Voorbeeld van visualisatie ontmoetingen	15
Figuur 9: Gecombineerde beoordelingscijfers weergegeven in de kleurcode toegepast in de beoordelingsfiguren.	16
Figuur 10: Beoordelingsfiguur voor ontmoetingen in de bocht van Bath bij ebstroom	17
Figuur 11: Voorbeeld ontmoeting ten noorden van boei 75A bij ebstroom.....	18
Figuur 12: Illustratie dwarsstroom tussen boeien 77 en 81A bij volle vloedstroom	19
Figuur 13: Beoordelingsfiguur voor ontmoetingen in de bocht van Bath bij volle vloedstroom	20
Figuur 14: Overzichtsfiguur van ontmoeting 58 uitgevoerd in de bocht van Bath bij volle vloedstroom.....	21
Figuur 15: Beoordelingsfiguur voor ontmoetingen ter hoogte van de Ballastplaat bij volle ebstroom ..	22
Figuur 16: Illustratie dwarsstroom tussen boeien 85 en 85A bij volle vloedstroom	23
Figuur 17: Beoordelingsfiguur voor ontmoetingen ter hoogte van de Ballastplaat bij volle vloedstroom	24
Figuur 18: Vergelijking tussen twee ontmoetingen uitgevoerd ter hoogte van de Europaterminal bij volle ebstroom	25
Figuur 19: Beoordelingsfiguur voor ontmoetingen uitgevoerd ter hoogte van de Europaterminal bij volle ebstroom.	26
Figuur 20: Beoordelingsfiguur voor ontmoetingen uitgevoerd ter hoogte van de Europaterminal bij volle vloedstroom.....	27
Figuur 21: Maximale inzinking uit alle vaarten relatief ten opzichte van de diepgang waarmee de vaart uitgevoerd werd in functie van de snelheid door het water.....	28
Figuur 22: Maximale inzinking uit alle vaarten relatief ten opzichte van de bruto kielspeling in functie van de snelheid door het water	29
Figuur 23: Invloed van scheepsafmetingen op de benodigde roercapaciteit uit deskstudie II.....	31

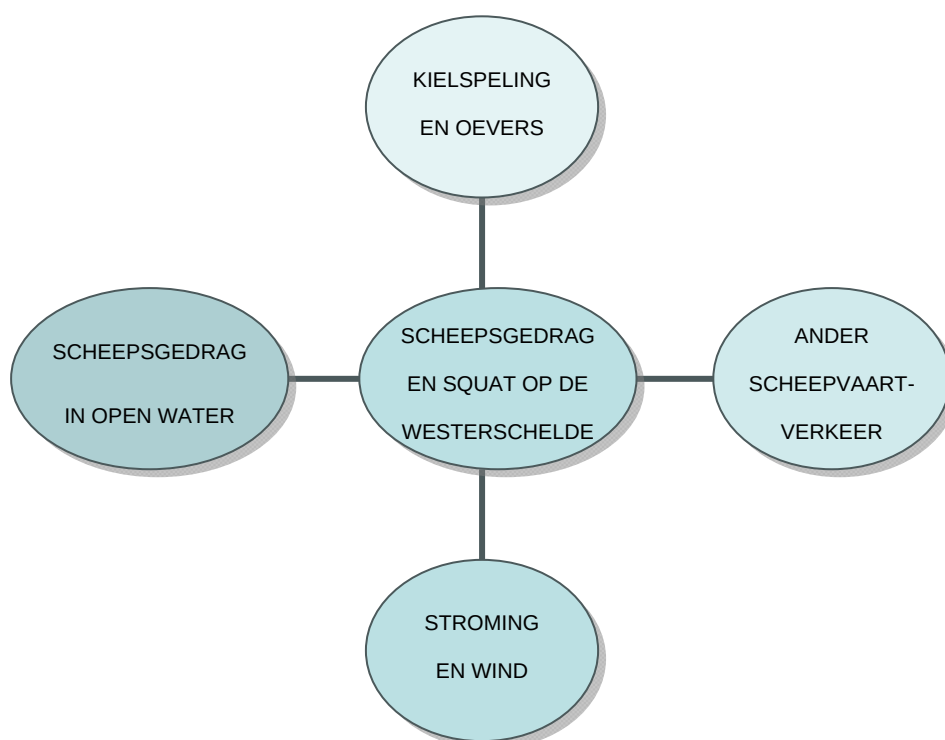
1 SITUERING

1.1 Vraagstelling

Om een beeld te krijgen van de invloed van de nieuwe generatie containerschepen op het scheepvaartverkeer op de Westerschelde, werd op 4 mei 2005 door MDK afdeling scheepvaartbegeleiding een onderzoek ten gronde gevraagd, betreffende de toegankelijkheid tot de Schelde van een 8400 TEU containerschip met maximale diepgang 145dm. Het onderzoek ging van start op 1 januari 2006 en kende een doorlooptijd van 24 maanden. Het werd uitgevoerd door de Universiteit Gent en het Waterbouwkundig Laboratorium te Antwerpen. In de loop van het onderzoek werden ook containerschepen met grotere afmetingen meegenomen.

1.2 Achtergrond

Wanneer een schip vaart in open water met grote waterdiepte zal de drukverdeling rond het schip enkel beïnvloed worden door de scheepskarakteristieken. Een schip varend in een beperkte omgeving zal echter een gewijzigde drukverdeling rond de romp ervaren waardoor de krachtwerking op het schip beïnvloed wordt. De invloed van de omgeving kan opgesplitst worden in enerzijds de invloed van de bodem en anderzijds de invloed van oevers die de vaarweg respectievelijk beperken in verticale en dwarse richting. Naast de permanente factoren als bodem en oevers kan de krachtwerking ook tijdelijk beïnvloed worden door de aanwezigheid van andere schepen. De interactiekrachten die schepen op elkaar uitoefenen kunnen een belangrijke invloed hebben op het manoeuvreergedrag van het schip. Behalve de invloed van de omgeving op het schip dient ook de invloed van stroming en wind op het scheepsgedrag gemodelleerd te worden. Een overzicht van de invloedsfactoren op een schip varend in een beperkte vaarweg wordt gegeven in Figuur 1.



Figuur 1: Overzicht van de invloedsfactoren op het scheepsgedrag van een schip varend in een beperkte vaaromgeving zoals de Westerschelde.

De extra krachten die ontstaan onder invloed van elk van deze factoren zullen de controleerbaarheid van het schip beïnvloeden. Om realistische simulaties uit te voeren is het van groot belang dat al deze fenomenen afdoende berekend worden in de simulatoren. Hiervoor was een uitgebreid onderzoek vereist.

Naast het manoeuvreergedrag van het schip is ook de te verwachten inzinking (squat) die het schip ondergaat een belangrijke factor bij het opstellen van een op- en afvaartregeling. Contact tussen het schip en de bodem dient immers te allen tijde vermeden te worden, waardoor ook een betrouwbare modellering van de inzinking van groot belang was.

1.3 Opzet Mod. 689/4

Het opzet van Mod. 689/4 was het wetenschappelijk onderbouwen van een op- en afvaartregeling voor grote containerschepen op de Westerschelde. Een dergelijk opzet vereist een onderzoek ten gronde naar het gedrag van containerschepen in beperkte waterwegen. Om dit te verwezenlijken werd gebruik gemaakt van een zeer groot aantal meetresultaten die bekomen werden uit sleeptankproeven uitgevoerd op de Sleektank voor Manoeuvres in Ondiep Water (Samenwerking Waterbouwkundig Laboratorium – Universiteit Gent) te Antwerpen (Borgerhout). De meetresultaten werden enerzijds ontleend aan vroegere onderzoeksmodellen en waren anderzijds het resultaat van nieuw uitgevoerde sleeptankproeven. Een overzicht van het aantal sleeptankproeven waarop het onderzoek in Mod. 689/4 gebaseerd is, wordt gegeven in bijlage.

1.4 Werkwijze

Rekening houdend met de uiteenzetting hierboven, werd het onderzoek opgesplitst in vijf deelopdrachten. De eerste vier deelopdrachten betroffen de modellering van de invloedsfactoren beschreven in paragraaf 1.2. In de laatste deelopdracht werden de resultaten van deze modellering toegepast om het gedrag van de onderzochte containerschepen te evalueren. Hieronder wordt de verdeling van Mod. 689/4 in deelopdrachten weergegeven.

- ☐ Deelopdracht 1: Squat
- ☐ Deelopdracht 2: Manoeuvreergedrag in open water
- ☐ Deelopdracht 3: Oevereffecten
- ☐ Deelopdracht 4: Interactie tussen schepen
- ☐ Deelopdracht 5: Evaluatie van de op- en afvaartregeling

Een gedetailleerde beschrijving per deelopdracht vormt het onderwerp van hoofdstuk 2.

1.5 Begeleidingscommissie

Om het onderzoek in M689/4 beter af te stemmen op de realiteit op de Westerschelde, werden de vorderingen van het onderzoek regelmatig besproken met en gestuurd vanuit de begeleidingscommissie. In deze begeleidingscommissie waren verschillende actoren aanwezig die de resultaten uit de studie konden kaderen in de praktijk op de Westerschelde. De begeleidingscommissie bestond uit:

- ☐ afdeling Scheepvaartbegeleiding (opdrachtgever);
- ☐ DAB Loodswezen: dienstleiding en varende loodsen;
- ☐ afdeling Haven en Waterbeleid Departement MOW;
- ☐ Universiteit Gent – Afdeling Maritieme Techniek;
- ☐ Waterbouwkundig Laboratorium Antwerpen.

2 UITGEVOERDE ONDERZOEK MOD. 689/4

2.1 Deelopdracht 1: Squat

Bij de bepaling van het tijvenster waarbinnen op- en afvaarten plaats kunnen vinden, dient rekening gehouden te worden met squat. Squat is de inzinking en vertrimming van het schip onder invloed van de verstoring die het door zijn vaarsnelheid teweegbrengt in het omringende water. De extra inzinking die ontstaat door squat is een belangrijke waarde voor de bepaling van de minimale kielspeling die een schip dient te behouden om een veilige afstand tot de bodem te bewerkstelligen. De minimale kielspeling die het schip dient te behouden, geeft aanleiding tot tijvensters die vooral voor afvarende schepen, die tegen de vloedstroom in varen, de mogelijke vertrekogenblikken sterk beperken. Door het belang van squat op de op- en afvaartregeling werd hieraan veel aandacht besteed in het onderzoek.

Een groot aantal factoren heeft een invloed op de squat van een schip. Concreet werd voor containerschepen een formule opgesteld waarmee de inzinking van boeg en hek berekend kunnen worden onder invloed van volgende parameters:

- ☐ voorwaartse snelheid door het water;
- ☐ schroefwerking;
- ☐ dwarse snelheid door het water;
- ☐ giersnelheid;
- ☐ ander scheepvaartverkeer;
- ☐ oevers.

Zoals in het bestek van Mod. 689/4 [4] beschreven staat, worden de resultaten van deze modellering toegepast bij de real-time evaluatie van Mod. 689/4.

2.1.1 Voorwaartse snelheid en schroefwerking

In eerste instantie werd voor vier scheepsconfiguraties de invloed van voorwaartse snelheid en schroefwerking op squat gemodelleerd. De scheepsconfiguraties werden afgeleid van drie scheepsmodellen van containerschepen getest in de sleeptank in het kader van voorgaande onderzoeksprojecten. De afmetingen van de onderzochte scheepsmodellen en de condities waarbij de proeven uitgevoerd werden, worden weergegeven in Tabel 1. De resultaten van scheepsmodel D en F werden afgeleid uit Mod. 518 "Scheepsbewegingen in de Scheurpas", en de resultaten van scheepsmodel U werden ontleend aan proeven in het kader van Mod. 749 [1].

Tabel 1: Hoofdafmetingen scheepsmodellen van containerschepen die het onderwerp vormden van het onderzoek naar squat en de condities waarbij deze beproefd werden (modelschaal).

	Lpp	B [-]	T [m]	ukc [%]	u [m/s]	Telegraaf [-]
F	3.800	0.640	0.232 - 0.25	16 - 25	0.146 - 1.164	Stop - Full Ahead
D	3.864	0.536	0.155 - 0.233	6.7 - 150	0.0594 - 1.063	Stop - Full Ahead
U	4.106	0.530	0.15 - 0.181	8.3 - 99.1	0.114 - 0.916	Stop - Full Ahead

2.1.2 Drift- en gierbewegingen

De invloed van dwarse snelheid en giersnelheid op squat werd enkel gemodelleerd op basis van scheepsmodel U. De modellering was gebaseerd op sleeptankproeven uitgevoerd voor Mod. 749 waarbij het model zowel driftbewegingen, gierbewegingen als een combinatie van drift- en gierbewegingen onderging.

2.1.3 Ander scheepvaartverkeer

In het kader van Mod. 614 [2] werd de invloed van schip-schip-interactie onderzocht. De invloed van ander scheepvaartverkeer op squat kon afgeleid worden uit dezelfde proeven als deze die aanleiding gaven tot de krachtenmodellering voor scheepsinteractie (deelopdracht 4). Een beschrijving van deze proeven wordt gegeven in paragraaf 2.4.

2.1.4 Oevereffecten

De invloed van oevers op squat werd gemodelleerd in Mod. 778 [3], een onderzoeksproject dat parallel liep aan Mod. 689/4. Een beschrijving van het experimentele programma waarop de resultaten uit Mod. 778 gebaseerd zijn, wordt gegeven in paragraaf 2.3.1.

2.2 Deelopdracht 2: Manoeuvreergedrag

2.2.1 Manoeuvreermodel scheepsmodel U

In het kader van Mod. 749 [1] werd voor scheepsmodel U, waarvan de geometrische afmetingen gebaseerd zijn op het schip Sovereign Maersk (zie Tabel 1), bij negen verschillende combinaties van diepgang en kielspeling een manoeuvreermodel opgesteld. Een manoeuvreermodel definieert het gedrag van het schip in open water (beperkt in waterdiepte maar zonder laterale beperkingen) aan de hand van tabulaire coëfficiënten. De onderzochte combinaties van diepgang en waterdiepte worden weergegeven in Tabel 2.

Tabel 2: Onderzochte combinaties van diepgang en waterdiepte voor scheepsmodel U in het kader van Mod. 749.

	T [m]	h [m]	ukc [%]
UG	14.61	29.09	99.1
UH	14.61	19.63	34.4
UI	14.61	16	9.5
UJ	13.61	26.98	98.3
UK	13.61	18.26	34.2
UL	13.61	14.87	9.3
UM	12.16	24	97.4
UN	12.16	16.16	32.9
UO	12.16	13.17	8.3

Deelopdracht 2 bestond erin een interpolatiemethode te ontwikkelen, die uitgaande van de modellen gedefinieerd in Mod. 749, toelaat het manoeuvreergedrag te beoordelen bij elke willekeurige waarde van diepgang en kielspeling in het onderzochte bereik.

Aan de hand van deze interpolatiemethode wordt het manoeuvreergedrag van een schip varend boven een grillig bodemprofiel aangepast aan de veranderende waterdiepte. Dit laat toe om het scheepsmodel U te evalueren bij real-time scenariovaarten in een natuurlijke omgeving zoals de Westerschelde. De resultaten van deelopdracht 2 werden een eerste keer toegepast tijdens de eerste reeks scenariovaarten uitgevoerd in november 2006 (zie deelopdracht 5).

Nadat de interpolatiemethode opgesteld was, werd deze eerst gevalideerd aan de hand van standaardmanoeuvres zoals draaicirkel-, zigzag- en spiraalproeven. Vervolgens werd ter validatie een

tweedaagse real-time evaluatie georganiseerd op de scheepsmanoeuvresimulator tijdens welke de loodsen het manoeuvreergedrag van het schip vergeleken met hun ervaringen.

2.2.2 Mod. 804/2: Opgeschaalde schepen

Bij de start van Mod. 689/4 zag het ernaar uit dat een schip type Sovereign Maersk (scheepsmodel U) het maatgevende schip zou worden voor de containertrafiek naar de haven van Antwerpen. Tijdens het lopende onderzoek van Mod. 689/4 bleek echter dat rederijen ook met grotere containerschepen de Antwerpse haven willen bereiken. Om deze reden werd het oorspronkelijke onderzoek uitgebreid naar containerschepen met grotere afmetingen. Aangezien het opstellen van de manoeuvreermodellen van deze schepen vanzelfsprekend niet opgenomen was in het bestek van Mod. 689/4, werd een nieuw onderzoeksmodel opgestart (Mod. 804/2 [5]), waarin manoeuvreermodellen voor containerschepen met lengtes over alles gelijk aan 366m, 381m en 400m opgesteld werden. Dit bijkomende onderzoek werd gefinancierd door het Gemeentelijk Havenbedrijf Antwerpen (GHA).

De negen manoeuvreermodellen (analoog aan deze uit Tabel 2) die voor elk van deze drie nieuwe scheepsconfiguraties opgesteld werden, werden verkregen door het oorspronkelijke scheepsmodel U te evalueren bij verschillende schaaufactoren. Een overzicht van de benodigde schaaufactoren en de gemodelleerde scheepsconfiguraties wordt weergegeven in Tabel 3. Tijdens de laatste real-time evaluatie uitgevoerd in oktober 2007 werd gebruik gemaakt van deze schepen.

Tabel 3 - Karakteristieken na opschaling van model U en gebaseerd op bestelde en gebouwde containerschepen van verschillende rederijen.

	MODEL U	MAERSK	CMA-CGM	MSC	MAERSK
Schaal	1	80.8	85.1	88.3	91.6
TEU	-	8400	11400	13230	14000
L _{OA} (m)	4.36	352.0	365.5	381.0	397.6
L _{PP} (m)	4.106	331.8	349.5	362.4	376.0
B (m)	0.53	42.8	48.4 (45.1)	51 (46.8)	56.4 (48.5)
T ₁ (m)	0.181	14.61	15.41	15.98	16.57
T ₂ (m)	0.168	13.61	14.30	14.83	15.38
T ₃ (m)	0.15	12.16	12.77	13.24	13.74

De schaaufactor werd aangepast aan de verandering van de lengte tussen de loodlijnen. Aangezien bij nieuwe scheepsontwerpen de breedte en scheepslengte niet evenredig toenemen, zal een gepaste schaaufactor voor de scheepslengte geen overeenkomst bieden tussen de werkelijke en de onderzochte scheepsbreedtes. In Tabel 3 worden de opgeschaalde scheepsbreedtes van de onderzochte schepen tussen haakjes weergegeven. Om de invloed van de grotere breedte op de manoeuvreermodellen te begroten werden de manoeuvreermodellen aangepast aan de resultaten van vrijvarende proeven.

2.2.3 Controle aan de hand van vrijvarende proeven

In het kader van het probabilistische onderzoek in Zeebrugge (Mod. 801/3) werd een nieuw scheepsmodel besteld waarvan de afmetingen overeenkomen met deze van een 397.5m containerschip. Met dit scheepsmodel werden in de sleeptank van BSHC (Bulgarije) vrijvarende draaicirkel- en zigzagproeven uitgevoerd in diep en ondiep water. De resultaten van deze proeven werden gebruikt om de manoeuvreermodellen ontwikkeld in Mod. 804/2 te valideren.

2.3 Deelopdracht 3: Oevereffecten

Oevers in de aanwezigheid van een varend schip zullen het drukveld rond het schip beïnvloeden. Om deze reden kan de aanwezigheid van een oever aanleiding geven tot krachten en momenten op het schip (oevereffecten). Het modelleren van deze krachten onder invloed van een stationaire willekeurige oeverconfiguratie vormde het onderwerp van Mod. 778 [3].

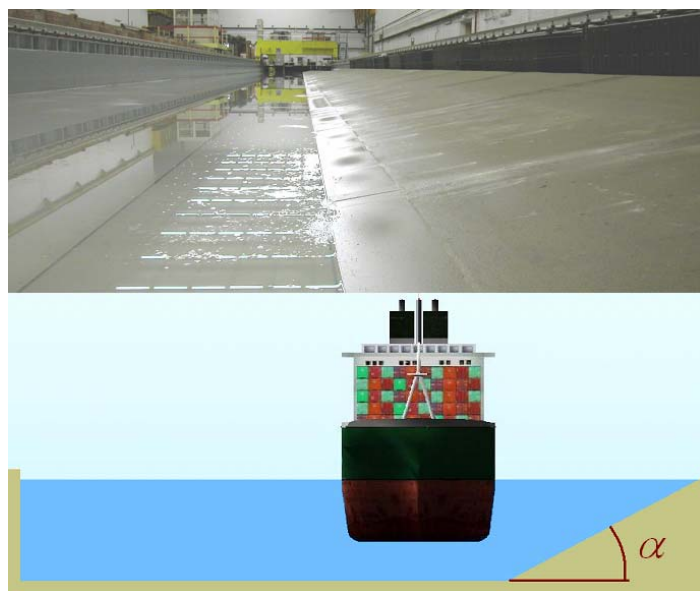
2.3.1 Mod. 778: Oevereffecten

Dit project was gebaseerd op een zeer groot aantal proeven (ca. 11000) die voornamelijk met scheepsmodel U werden uitgevoerd en waarbij een groot aantal factoren werd gevarieerd:

- ❑ negen verschillende oeverconfiguraties;
- ❑ laterale afstand tot de oever: vijf afstanden variërend van het midden van de sleeptank tot zo dicht mogelijk bij de oever;
- ❑ diepgang: 12.16m, 13.61m, 14.61m;
- ❑ scheepssnelheid: 6kn, 8kn, 10kn, 12kn, 14kn, 16kn;
- ❑ schroeftoerental (in % van sea full): 0%, 40%, 60%, 80%;
- ❑ waterdiepte (UKC): 10%, 35%, 100%.

De verschillende oeverconfiguraties worden onderverdeeld in enerzijds surface piercing oevers en anderzijds oevers bestaande uit een combinatie van helling en verdronken land.

Bij een surface piercing oever wordt de oever gedefinieerd op basis van een helling die het wateroppervlak snijdt (zie Figuur 2). De vier surface piercing oeverconfiguraties die onderzocht werden, werden gekenmerkt door de hellingen weergegeven in Tabel 4.



Figuur 2: Surface piercing oeverconfiguratie

Een tweede soort oever combineert een oeverhelling met een verdronken land, waardoor de oeverhelling het wateroppervlak niet doorsnijdt (zie Figuur 3). Een dergelijke verdronken land oever wordt gedefinieerd op basis van drie parameters:

- ❑ helling (α);
- ❑ hoogte verdronken land (h_0);
- ❑ horizontale uitgestrektheid van het verdronken land (y_{sub}).

De parameters die overeenstemmen met de vijf onderzochte verdronken land oevers worden weergegeven in Tabel 4¹.

¹ De standaard schaalfactor van scheepsmodel U bedroeg 1/80.8. Scheepsmodel U stelt een containerschip voor met lengte over alles gelijk aan 352m.



Figuur 3: Verdrongen land oeverconfiguratie

Tabel 4: Hellingen van de onderzochte surface piercing oevers (links) en verdrongen land oevers (rechts)

naam	helling α [-]	naam	helling α [-]	h_0 [m]	y_{sub} [m]
OEVER VII	1/3	OEVER VI	1/8	0.15	1.80
OEVER II	1/5	OEVER III	1/5	0.12	2.35
OEVER V	1/8	OEVER IV	1/5	0.15	2.20
OEVER I	Verticale wand	OEVER IV ²	1/5	0.15	1.10
		OEVER IV ³	1/5	0.15	0.55

Op basis van de uitgevoerde sleeptankproeven werd een modellering opgesteld waarmee de invloed van de oever op onderstaande grootheden berekend kan worden:

- ☐ dwarsscheepse kracht;
- ☐ langsscheepse kracht;
- ☐ giermoment;
- ☐ inzinking ter hoogte van de voorpiek;
- ☐ inzinking ter hoogte van de achterpiek.

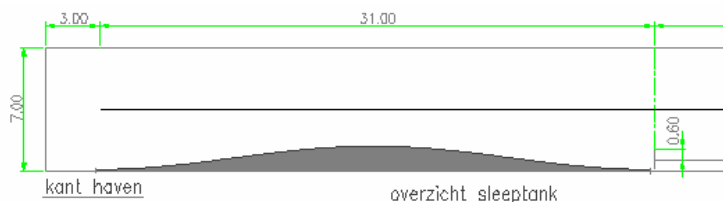
Deze modellering werd ingebouwd in de simulator en werd toegepast tijdens de laatste real-time scenariovaarten van Mod. 689/4.

2.3.2 Overgangsverschijselen bij oevers

In het kader van Mod. 778 [3] werd een oevermodellering opgesteld op basis van een constante oeverconfiguratie waaraan het schip gedurende een lange periode blootgesteld wordt. Dit liet toe om de invloed van oevers in de stationaire evenwichtssituatie te modelleren. In een werkelijke omgeving als de Westerschelde echter, zal onder invloed van de scheepssnelheid de oeverconfiguratie voortdurend veranderen. Plotse veranderingen in de oeverconfiguratie, die bijvoorbeeld kunnen optreden bij het voorbijvaren van sluismondingen, kunnen aanleiding geven tot overgangsverschijselen in de oeverkrachten. Het opstellen van een oeverkrachten modellering voor een veranderlijke oever vormde het onderwerp van deelopdracht 3.

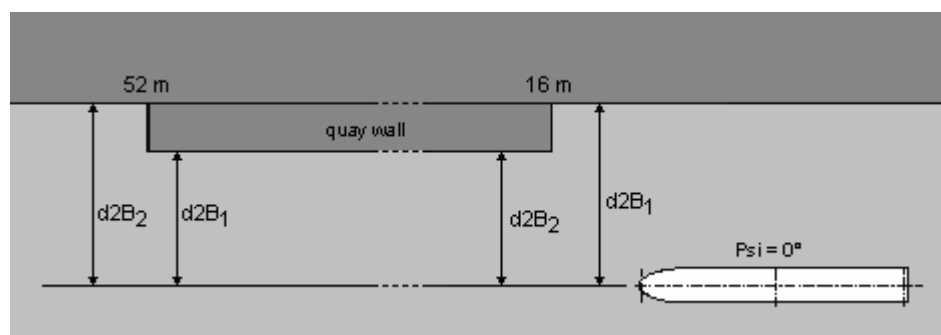
Allereerst werd de invloed van geleidelijke veranderingen in de oeverconfiguratie vergeleken met de resultaten uit Mod. 778. Hiervoor werd een sinusoidale oever met verticale wand ingebouwd in de sleeptank (zie Figuur 4). Door deze oever voorbij te varen aan de hand van een recht traject veranderde de oeverafstand tijdens de vaart. De resultaten van de oeverkrachten werden vergeleken met de resultaten uit gelijkaardige stationaire proeven uit Mod. 778. Op basis van deze vergelijking kon men besluiten dat de invloed van dergelijke geleidelijke oeververanderingen niet leidt tot grote overgangsverschijselen in de oeverkrachten. Hiervoor werden naast de voorgestelde (Figuur 4) combinatie van een recht scheepstraject ten opzichte van een sinusoidale oever ook volgende combinaties van scheepstraject en oevervorm onderzocht:

- ❑ sinusoïdaal scheepstraject langs een sinusoïdale oever (constante oeverafstand);
- ❑ sinusoïdaal scheepstraject langs een rechte oever (het verloop van de oeverafstand is identiek aan dat in Figuur 4).



Figuur 4: Sleeptankconfiguratie voor geleidelijke veranderingen van de oeverconfiguratie.

Nadat gebleken is dat de invloed van geleidelijke oeverconfiguraties erg beperkt is, werd de invloed van bruske wijzigingen in de oeverconfiguratie onderzocht. Het opstellen van een modellering voor de overgangskrachten werd gebaseerd op proeven met inspringende of uitspringende oevers met verticale wand, die op verschillende laterale afstanden voorbijgevaaren werden (zie Figuur 5).



Figuur 5: Sleeptankconfiguratie voor het onderzoek naar bruske oeververanderingen.

De proeven werden uitgevoerd in het kader van Mod. 749 [1]. Tijdens deze proeven werden volgende grootheden gevarieerd:

- ❑ laterale afstand tussen de scheepsboord en de oever (kleinste sectie): 82m, 39m, 21m, 9.3m en 4.4m;
- ❑ diepgang: 12.16m, 13.61m, 14.61m;
- ❑ scheepssnelheid: 4kn, 8kn, 12kn;
- ❑ schroeftoerental (in % van sea full): 0%, 40%; 80%;
- ❑ waterdiepte (UKC): 10%, 35%, 100%.

Uiteindelijk bleek dat enkel voor de dwarskracht belangrijke overgangsverschuinselen optraden. Deze werden dan ook gemodelleerd en ingebouwd in de simulator.

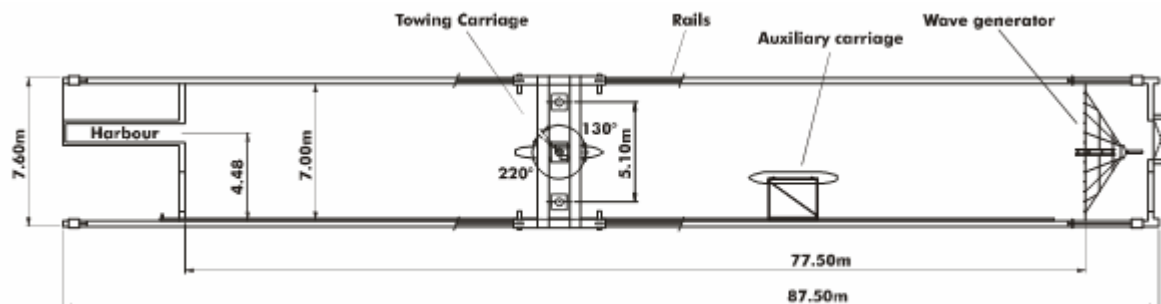
2.4 Deelopdracht 4: Scheepsinteractie

Een vreemd schip in de nabijheid van een al dan niet varende eigenschap² zal net als een oever een verandering van het drukveld rond het schip veroorzaken. Hierdoor ontstaan er interactiekrachten en -momenten gedurende de ontmoeting van deze schepen. De grootte van deze krachten is afhankelijk van een groot aantal factoren zoals de snelheid van beide schepen, de afmetingen van beide schepen, de gerespecteerde tussenafstand en de heersende waterdiepte. Bovendien varieert het krachtenverloop tijdens de ontmoeting afhankelijk van de relatieve longitudinale positie waarin de interage-

² Een eigenschap is het schip waarop de invloed (krachten en inzinking) van de aanwezigheid van andere schepen op gemeten of berekend wordt.

rende schepen zich bevinden (bv. boeg-boeg of boeg-hek). De berekening van de interactiekrachten vormde het onderwerp van Mod. 614 [2]. In dit onderzoeksmodel werden een groot aantal interactieproeven uitgevoerd. De interactiekrachten tussen vier verschillende scheepstypes werd getest bij verschillende combinaties van snelheid van het eigenschip (waarop de krachten gemeten worden), snelheid van het vreemde schip (dat de krachten veroorzaakt), dwarse tussenafstand en kielspeling.

Om deze proeven uit te voeren werd een hulpmechanisme toegevoegd aan de sleeptank. Dit hulpmechanisme liet toe om een tweede schip (vreemd schip) aan de sleeptank toe te voegen en interactieproeven uit te voeren tussen het eigenschip en het vreemde schip waarbij beide op parallelle koersen voeren. Een grafische voorstelling van de sleeptankconfiguratie wordt weergegeven in Figuur 6.



Figuur 6: Sleeptankconfiguratie voor interactieproeven

De interactieproeven werden uitgevoerd met vier scheepsmodellen die voorgesteld worden in Tabel 5. De scheepsmodellen D, E en H werden gebruikt zowel als eigenschip (op de hoofdinstallatie of de sleepwagen) als als vreemd schip (op de hulpinstallatie). Scheepsmodel C werd enkel als vreemd schip gebruikt.

Tabel 5: Hoofdafmetingen van de scheepsmodellen die het onderwerp vormden van Mod. 614

Schip model	C			D			E			H	
Schipstype	bulk carrier			container carrier			tanker			kleine tanker	
MODELWAARDEN											
L _{PP} (m)	3.984			3.864			3.824			2.211	
B (m)	0.504			0.536			0.624			0.296	
T (m)	0.155	0.18	0.2	0.155	0.18	0.2	0.136	0.207	0.256	0.125	0.178
Schaal factor	75			75			75			75	
Displacement (m ³)	0.2581	0.3024	0.3384	0.1804	0.2194	0.2525	0.2588	0.4029	0.5059	0.0673	0.0989
NATUURWAARDEN											
L _{PP} (m)	298.8			289.8			286.8			165.8	
B (m)	37.8			40.25			46.8			22.2	
T (m)	11.63	13.5	15	11.63	13.5	15	10.2	15.53	19.2	9.38	13.35
Displacement (m ³)	108880	127561	142761	76123	92578	106523	109179	169981	213410	28392	41706

Bij de interactieproeven werden zowel oplooptmanoeuvres als ontmoetingsmanoeuvres onderzocht. Naargelang de relatieve beweging tussen eigenschip en vreemd schip werd een onderscheid gemaakt tussen drie bewegingsmoden:

- ❑ Mode 1: Het eigen- en vreemde schip ontmoeten elkaar;
- ❑ Mode 2: Het vreemde schip loopt het eigenschip op;
- ❑ Mode 3: Het eigenschip loopt het vreemde schip op.

Naast de verschillende diepgangen in Tabel 5 werden ook andere parameters gevarieerd:

- ❑ snelheid van het eigenschip: 0kn, 4kn, 6kn, 8 kn, 12kn en 16kn;
- ❑ snelheid van het vreemde schip: 0kn, 4kn, 6kn, 8 kn, 12kn en 16kn;
- ❑ dwarse tussenafstand ($\frac{Y_{bb}}{\min(B_O, B_T)}$): 0.25, 0.5, 1 en 2;

- Y_{bb} Dwarsafstand tussen de boorden van eigenschap en vreemd schip [m]
- B_O Breedte eigenschap [m]
- B_T Breedte vreemde schip of Target schip [m]

□ waterdiepte: 14.8m, 17.1m, 18.6m, 23.03 en 32.87m.

Op basis van de uitgebreide proevenreeks werd in Mod. 614 per bewegingsmode en per combinatie van eigenschap en vreemd schip een modellering opgesteld voor de langskracht, de dwarskracht en het gierrmoment. In deelopdracht 4 van Mod. 689/4 werd voor de drie bewegingsmodes een methode ontwikkeld waardoor de resultaten uit Mod. 614, toegepast konden worden op een willekeurige scheepscombinatie. Deze methode werd bovendien geïmplementeerd in de simulator en werd onder andere aan de hand van real-time simulatievaarten gevalideerd. De interactiemodule werd toegepast in beide real-time simulaties uit deelopdracht 5.

2.5 Deelopdracht 5: Evaluatie

In deelopdracht 5 van Mod. 689/4 werden de resultaten van de andere deelopdrachten toegepast om de toelaatbaarheid van de onderzochte schepen tot de haven van Antwerpen te beoordelen.

Deze beoordeling werd uitgevoerd aan de hand van twee methodes. Een eerste methode bestond uit een deskstudie ontwikkeld door WL en UGent in het kader van Mod. 771 [6]. De tweede methode betrof real-time scenariovaarten uitgevoerd op de scheepsmanoeuvresimulator van het WL te Borgerhout.

2.5.1 Deskstudies

Gedurende Mod. 689/4 werden er twee deskstudies verwacht. Het opzet van beide deskstudies was identiek en het verschil tussen beide bestond erin dat de laatste evaluatie kon buigen op meer verfijnde berekeningen van de oevereffecten en de manoeuvreereigenschappen. Om deze reden zal in dit rapport de nadruk gelegd worden op de meest recente deskstudie uitgevoerd in maart 2007.

In een deskstudie wordt in verschillende bochten langs de Westerschelde, het benodigde manoeuvreermoment vergeleken met het moment dat door het roer geleverd kan worden. Wanneer het benodigde manoeuvreermoment groter werd dan het beschikbare roermoment, kon het schip onmogelijk de bocht uitvoeren zonder af te wijken van het vooropgestelde traject.

Wanneer een bochtmanoeuvre naar stuurboord (binnenbocht) uitgevoerd wordt tegen de stroming in, dient het roermoment de invloed van volgende factoren te overwinnen:

- De kromming van de stroming, die gealigneerd met de vaarweg verondersteld wordt, zal afhankelijk van de plaatselijke kromtestraal van de vaarweg een verschillende oriëntatie hebben op boeg en hek. Dit geeft aanleiding tot een moment op het schip, dat indien de stroomzin tegengesteld is aan de vaarrichting het bochten bemoeilijkt.
- Het initiëren van een bocht vereist het opbouwen van de giersnelheid van een schip. Om deze giersnelheid op te bouwen is een bochtmoment nodig. Dit moment kan berekend worden uit draaicirkelmanoeuvres die uitgevoerd werden aan de hand van fast-time proeven op basis van de manoeuvreermodellen opgesteld in deelopdracht 2 (zie paragraaf 2.2).
- Een schip varende op korte afstand van een oever zal onderhevig zijn aan momenten opgewekt door de aanwezigheid van deze oever (zie paragraaf 2.3). Het moment opgewekt door de oever stoot de boeg van het schip af naar het midden van de vaarweg. Hierdoor zal een schip dat de stuurboordwal aanhoudt moeilijker een bocht naar stuurboord, dan naar bakboord uitvoeren.

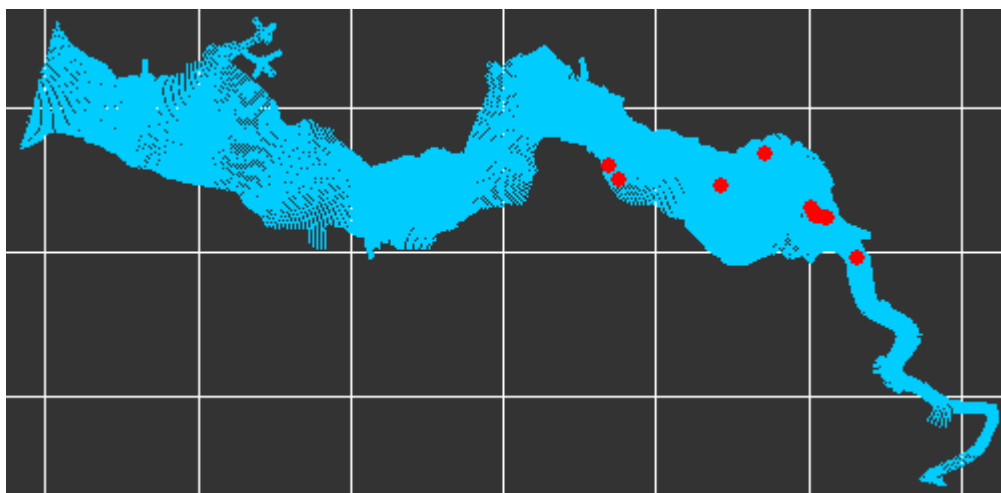
De som van de momenten die een gevolg zijn van de bovenstaande drie fenomenen kan relatief ten opzichte van het beschikbare roermoment uitgezet worden. Op die manier krijgt men een idee welk percentage van de beschikbare manoeuvreercapaciteit er aangesproken dient te worden. Indien dit percentage groter wordt dan 100% dan is het schip niet langer controleerbaar.

Tijdens de laatste deskstudie werd de beschreven methode toegepast om enerzijds de moeilijkheden op verschillende locaties in de Westerschelde met elkaar te vergelijken, en anderzijds de invloed van verschillende parameters op de controleerbaarheid van het schip te evalueren.

De locaties waarop de deskstudie toegepast werd, worden weergegeven in Tabel 6 en Figuur 7. Zoals duidelijk wordt uit Tabel 6, werden tussen boei 80 en boei 78 verschillende locaties onderzocht. Dit had te maken met de problemen met oevermomenten die daar optraden bij de eerste real-time evaluatie in november 2006.

Tabel 6: Onderzochte locatie en situaties bij de deskstudie van maart 2007

Locatie	Referentie	Bochtstraal [m]	vaarzin	stroming
Nauw van Bath	Boei75	1200	opvaart	eb
Ballastplaat	Boei80	10000	afvaart	vloed
Ballastplaat	Sector I	10000	afvaart	vloed
Ballastplaat	Sector II	10000	afvaart	vloed
Ballastplaat	Sector III	5000	afvaart	vloed
Ballastplaat	Boei78	2000	afvaart	vloed
Plaats van Valkenisse	Boei64	1500	afvaart	vloed
Bocht van Walsoorden	Boei48a	2000	afvaart	vloed
Bocht van Walsoorden	Boei48b	2000	afvaart	vloed
Plaats van Doel	Boei91	2000	opvaart	eb



Figuur 7: Onderzochte locaties bij de deskstudie van maart 2007.

Op één bepaalde locatie (bocht van Bath) werd de invloed van verschillende parameters op de controleerbaarheid van het schip onderzocht. Het betrof:

- ☐ kielspeling;
- ☐ diepgang;
- ☐ stroomsnelheid;
- ☐ scheepssnelheid;
- ☐ toerental;
- ☐ dwarsafstand tot de boei;
- ☐ schaalfactor/scheepsafmetingen.

2.5.2 Real-time scenariovaarten

Een tweede beoordeling van de op- en afvaart van containerschepen met grote afmetingen geschiedde op basis van real-time simulaties. Deze werden uitgevoerd door ervaren rivierloodsen op de scheepsmanoeuvresimulatoren van het Waterbouwkundig Laboratorium te Antwerpen. Een eerste

evaluatie vond plaats gedurende zeven dagen in november 2006, een tweede evaluatie gedurende tien vaardagen in oktober 2007.

Tijdens een real-time scenariovaart worden de door de begeleidingscommissie als moeilijkst beschouwde praktijksituaties nagebootst op de simulator. Zowel tijdens de eerste als de tweede reeks scenariovaarten lag de nadruk op ontmoetingen uitgevoerd tussen twee schepen op drie locaties in de Westerschelde. Het betrof:

- ❑ Bocht van Bath;
- ❑ Ballastplaat (boei 78);
- ❑ Europaterminal (boei 91).

Bij de eerste real-time evaluatie werd bovendien een complexe verkeerssituatie ter hoogte van Hansweert en een oplooptmanoeuvre ter hoogte van Saeftinge geënceneerd. Omdat tijdens de eerste reeks simulaties er geen problemen optraden bij deze twee manoeuvres, werden deze niet herhaald tijdens de tweede reeks simulaties.

De evaluatie van ontmoetingen ter hoogte van de geselecteerde locaties geschiedde bij zowel vloed- als ebstroom. De momenten van het getij die onderzocht werden, kwamen overeen met volle vloed (één uur voor hoog water) en volle eb (twee uur voor laag water). De stromingsprofielen werden gevalideerd op validatiedagen die de scenariovaarten vooraf gingen.

Tijdens de eerste reeks simulatievaarten werd steeds een combinatie van een eigenschip en vreemd schip³ onderzocht. De aardvast besturing van de vreemde schepen leidde tot enkele tekortkomingen betreffende het gedrag van deze schepen.

- ❑ Het vreemde schip werd niet beïnvloed door externe factoren als wind en stroming. Zo zou het schip noch afdrijven, noch drijven bij het optreden van dwarsstroom.
- ❑ De interactiekrachten opgewekt door een vreemd schip op een eigenschip werden wel in rekening gebracht, maar omgekeerd was dit niet het geval. Hierdoor werd het traject van het vreemde schip niet aangepast aan de aanwezigheid van het eigenschip. Dit bemoeilijkte de validatie van de interactiemodule (zie paragraaf 2.4).

Bij het uitvoeren van de tweede reeks simulatievaarten werd met twee eigenschepen gevaren waardoor het gedrag van zowel op- als afvarend containerschip realistisch was. De voornaamste verschillen tussen de eerste en tweede reeks scenariovaarten waren:

- ❑ Onderzochte scheepsconfiguraties
 - Bij de eerste reeks scenariovaarten werd gevaren met het 8400 TEU schip gebaseerd op scheepsmodel U (zie Tabel 3). Dit schip werd geëvalueerd bij drie verschillende diepgangen: 12.15m, 14m en 14.5m.
 - Bij de tweede reeks scenariovaarten werd gevaren met de drie scheepsconfiguraties met grotere scheepsafmetingen (zie Tabel 3). Elk van deze drie scheepsconfiguraties werd onderzocht bij een diepgang gelijk aan 13.1m en 14.5m. Behalve de afmetingen verschilden de drie scheepsconfiguraties ook op basis van de positionering van de scheepsbrug.
 - $L_{OA}=366m$: conventionele scheepsbrugpositie (80m achter midschip)
 - $L_{OA}=381m$: vooruitgeschoven scheepsbrugpositie (40m voor midschip)
 - $L_{OA}=397m$: centrale scheepspositie (30m achter midschip)
- ❑ Bodemprofiel

³ Een eigenschip wordt bestuurd van op één van de simulatorbruggen terwijl een vreemd schip bestuurd wordt vanuit de operatorruimte aan de hand van de scheepssnelheid en een op voorhand gedefinieerd aardvast traject.

- Tijdens de eerste reeks scenariovaarten werd er gevaren met een bodemprofiel dat door sommige loodsen als verouderd bestempeld werd.
- De tweede reeks scenariovaarten werd uitgevoerd met een recent bodemprofiel (januari 2007). Er dient echter benadrukt te worden dat geen van beide bodemprofielen aangepast werd aan de geplande verdieping en verbreding van de Westerschelde.
- Windkarakteristieken
 - Bij de eerste reeks scenariovaarten werd gevaren bij verschillende windrichtingen en windsnelheden.
 - Bij de tweede reeks scenariovaarten werd er steeds bij dezelfde windrichting gevaren nl. west zuidwesten. Alle scenariovaarten werden uitgevoerd met een windsterkte die pieken tot 7 Beaufort bereikte. Het synoptische gemiddelde van de windsterkte bedroeg 5 Beaufort.
- Aantal loodsen
 - Bij de eerste reeks scenariovaarten werden er dagelijks drie loodsen uitgenodigd, waarvan er twee het eigenschap bestuurden van op de simulatorbrug, en één loods het vreemde schepen bestuurde vanuit de operatorruimte.
 - Bij de tweede reeks scenariovaarten werden er dagelijks vier loodsen uitgenodigd die per twee beide simulatorbruggen bemanden.
- Organiseren van ontmoetingen
 - Bij de eerste reeks scenariovaarten werden steeds ontmoetingen georganiseerd tussen een eigenschap en een vreemd schip. De snelheid van het vreemde schip werd zodanig door de operator (derde loods) aangepast dat de ontmoeting steeds op ongeveer dezelfde locatie geschiedde.
 - Een belangrijke opmerking van de loodsen na het uitvoeren van de eerste reeks scenariovaarten was dat het vereenvoudigde gedrag van de vreemde schepen een belangrijke invloed had op de resultaten van deze scenario's.

Bij de tweede reeks scenariovaarten vonden de moeilijkste ontmoetingen in een vaart plaats tussen twee eigenschepen. Er werd in dezelfde omgeving gevaren met twee eigenschepen bestuurd van op de twee simulatoren. De loodsen konden startend bij ongunstige startposities het verloop van de vaart beïnvloeden door afspraken te maken over de VHF en indien nodig de scheepssnelheid aanpassen. Hierdoor kon men indien de omstandigheden dit toelieten, de meest kritieke ontmoetingslocatie vermijden.

De koppeling tussen de twee simulatoren is tot stand gekomen in het kader van project Mod. 451/4.

Om een realistische vaaromgeving te bekomen, werden in de meeste simulaties ook kleinere vreemde schepen toegevoegd die bediend werden vanuit de operatorruimte. Bij simulaties zonder deze extra schepen werden de startposities van beide eigenschepen op kortere afstand van elkaar gekozen, waardoor de mogelijkheden om de minst gunstige ontmoetingspositie te vermijden erg beperkt werden.
- Squatberekening
 - Bij de eerste reeks scenariovaarten werd er niet expliciet rekening gehouden met squat bij het beoordelen van de afstand tot de bodem. Aangezien het scheepsmodel tijdens het uitvoeren van modelproeven wel vrij is om in te zinken en te trimmen was squat wel impliciet ingebouwd in de verschillende krachtwerkingen op het schip.
 - Bij de tweede reeks scenariovaarten werd de squatmodellering (zie paragraaf 2.1) geïmplementeerd in de simulator. De inzinking van het schip werd weggeschreven naar een resultatenfile en toegepast bij de berekening van de oevereffecten.

□ Berekening van de oevereffecten

- Bij de eerste reeks scenariovaarten werd gebruik gemaakt van de resultaten van Mod. 749 [1] om de oevereffecten te berekenen. Voor de methode ontwikkeld in Mod. 749 diende een referentielijn opgegeven te worden die afhankelijk was van de heersende tijstand en toegepaste scheepsdiepgang.
- Bij de tweede reeks scenariovaarten werden de oevereffecten berekend aan de hand van Mod. 778 (zie paragraaf 2.3.1). Bij deze methode werd de bodem on-line afgetast om op die manier de nabijheid van de oever te bepalen.

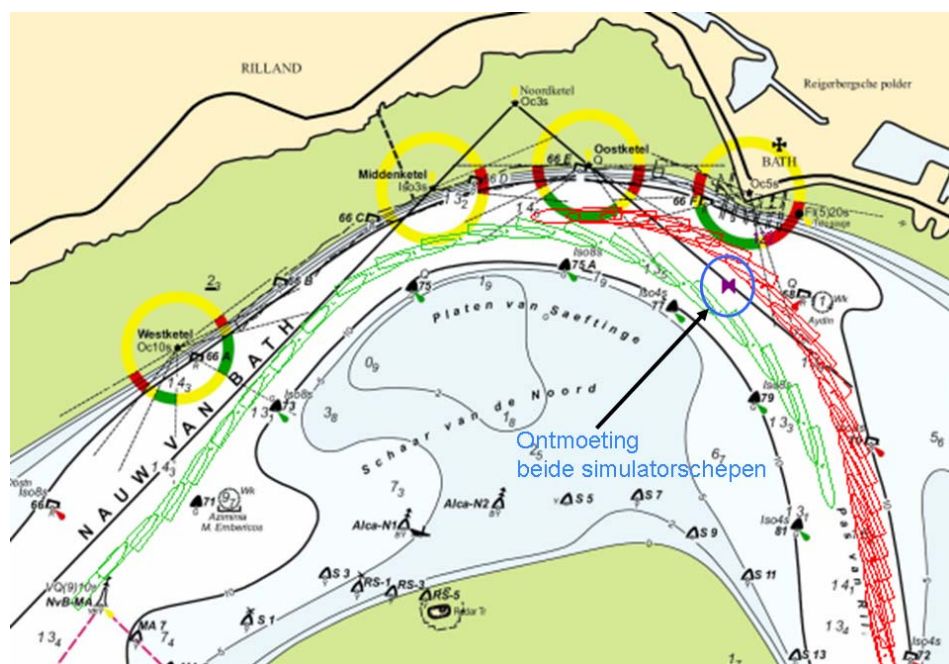
3 RESULTATEN

3.1 Evaluatie

Bij de voorstelling van de resultaten uit de studie zal de nadruk liggen op de meest recente simulatievaarten uitgevoerd in oktober 2007. Deze simulatievaarten namen 10 dagen in beslag gedurende de welke 112 ontmoetingen uitgevoerd werden. Doordat tijdens deze ontmoetingen zowel het opvarende als het afvarende containerschip van op een simulatorbrug bestuurd werd, leverden de 112 ontmoetingen 224 scheepstrajecten die geëvalueerd dienden te worden. Een overzichtelijke evaluatie drong zich bijgevolg op.

3.1.1 Visualisatie ontmoetingen

De ontmoetingen werden gevisualiseerd op een overzichtstekening waarbij het traject van het opvarende en afvarende schip weergegeven wordt. De locatie waar de ontmoeting plaatsvond wordt weergegeven aan de hand van een paars zandlopersymbool. Een voorbeeld van een geslaagde ontmoeting in de bocht van Bath wordt weergegeven in Figuur 8.



Figuur 8: Voorbeeld van visualisatie ontmoetingen

3.1.2 Beoordeling op basis van cijfers

Het grote aantal ontmoetingen vereist een objectief beoordelingscriterium dat een maat is voor de reserves waarmee de ontmoeting uitgevoerd werd. Er werd een beoordelingscijfer gedefinieerd op basis van drie knelpunten eigen aan een ontmoeting:

1. minimale afstand tussen twee eigenschepen tijdens de ontmoeting;
2. minimale afstand tussen opvarend of afvarend eigenschap en een boei die in verband gebracht kan worden met de ontmoeting;
3. golfhoogte ter hoogte van de Europaterminal gegenereerd door het afvarende schip.

De gekozen grenzen om een golfhoogte, boeiafstand of tussenafstand te quoteren met cijfer 1, 2, 3 of 4 worden weergegeven in Tabel 7. Het uiteindelijke beoordelingscriterium van de ontmoeting is gebaseerd op het gecombineerde beoordelingscijfer. Het gecombineerde beoordelingscijfer is de gemiddelde waarde van enerzijds de beoordeling van gerespecteerde tussenafstand en anderzijds de maximale beoordeling op basis van boeiafstand en golfhoogte (zie Tabel 7).

De kleurcodes van de gecombineerde beoordelingscijfers zullen gebruikt worden om beoordelingsfiguren te genereren waarop alle ontmoetingen uitgevoerd bij dezelfde condities weergegeven worden in de bijhorende beoordelingskleur. De exacte kleurweergave gebruikt in deze beoordelingsfiguren worden ter vergelijking weergegeven in Figuur 9.

Tabel 7: Berekening van het gecombineerde beoordelingscijfer op basis van tussenafstand, boeiafstand en golfhoogte

	BEOORDELING VOOR TUSSENAFSTANDEN	tussenafstand $\geq 70\text{m}$	tussenafstand $\in [50\text{m}, 70\text{m}]$	tussenafstand $\in [30\text{m}, 50\text{m}]$	tussenafstand $< 30\text{m}$
BEOORDELING VOOR BOEIAFSTAND & GOLFHOOGTE		1	2	3	4
boeiafstand $\geq 40\text{m}$ of golfdal $< 0.3\text{m}$	1	1.0	1.5	2.0	2.5
boeiafstand $\in [25\text{m}, 40\text{m}]$ of golfdal $\in [0.3\text{m}, 0.45\text{m}]$	2	1.5	2.0	2.5	3.0
boeiafstand $\in [12\text{m}, 25\text{m}]$ of golfdal $\in [0.45, 0.6\text{m}]$	3	2.0	2.5	3.0	3.5
boeiafstand $< 12\text{m}$ of golfdal $> 0.6\text{m}$	4	2.5	3.0	3.5	4.0



Figuur 9: Gecombineerde beoordelingscijfers weergegeven in de kleurcode toegepast in de beoordelingsfiguren.

3.2 Kritieke locaties op de rivier

Tijdens de tweede reeks scenariovaarten werden op drie locaties op de Westerschelde ontmoetingen onderzocht. Het betrof:

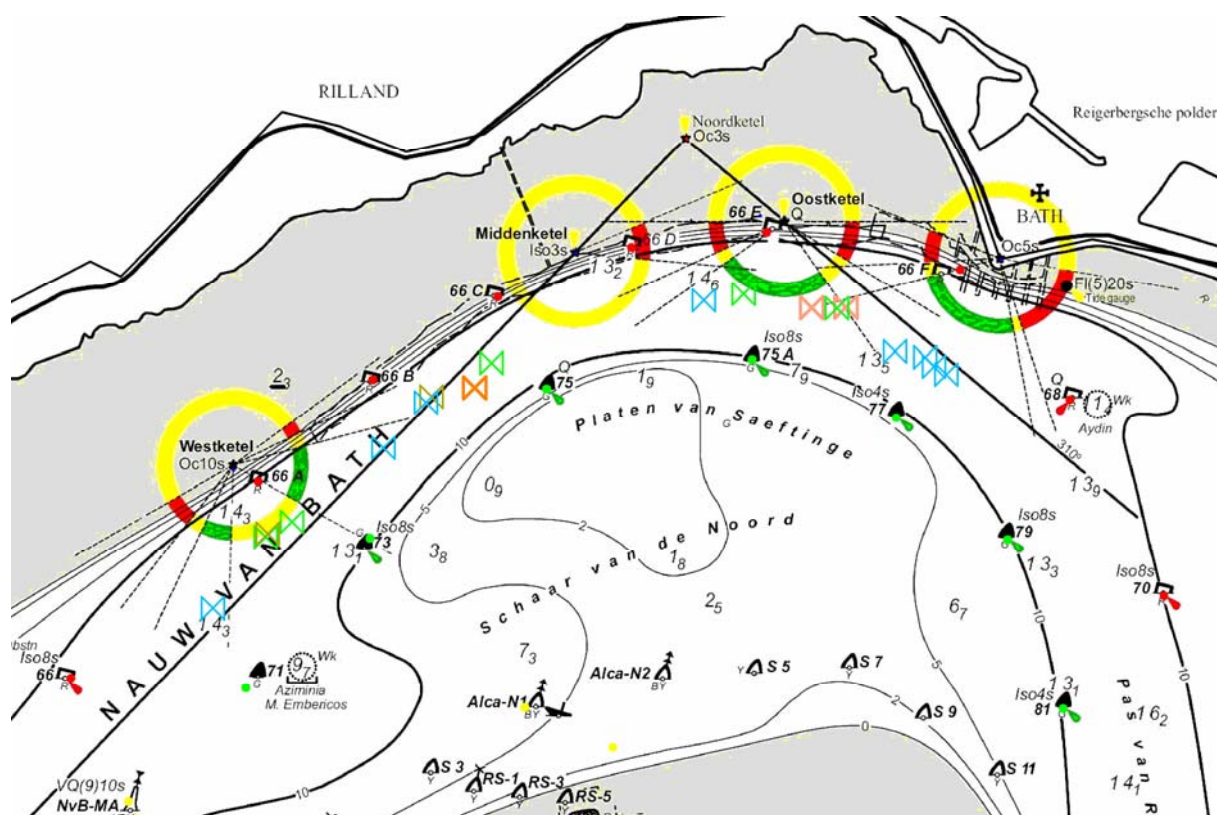
- Bocht van Bath;
- Ballastplaat (boei 78);
- Europaterminal.

Elk van deze drie locaties werd onderzocht bij twee stromingscondities overeenkomstig met maximale vloedstroom en maximale ebstroom. De zes verschillende condities die hierdoor ontstaan zullen afzonderlijk geëvalueerd worden.

3.2.1 Bocht van Bath bij volle ebstroom

Ontmoetingen uitgevoerd in de bocht van Bath gaan gepaard met een aantal knelpunten die ook tijdens de simulatievaarten tot uiting kwamen. Ten eerste dient in de bocht van Bath een behoorlijke koerswijziging bereikt te worden. De kromtestraal van de bocht is vrij klein (ca. 1500m) waardoor een groot containerschip een behoorlijke giersnelheid dient te genereren. Voorts kan de steile rechteroever, gelegen op korte afstand achter de rode boeienlijn, aanleiding geven tot belangrijke oevereffecten. Een laatste knelpunt betreft de beperkte breedte van de vaarweg ter hoogte van boei 75.

Op voorhand werd door de loodsen aangehaald dat ontmoetingen ter hoogte van boei 75 steeds vermeden dienen te worden. De startposities van de eigenschepen werden zodanig gekozen dat, indien de snelheid van op- en afvarend schip niet aangepast werd, de ontmoeting plaats zou vinden ter hoogte van boei 75. Aangezien de startposities op relatief grote afstand van boei 75 lagen, hadden de loodsen de mogelijkheid om alternatieve ontmoetingsposities af te spreken, en indien dit nodig geacht werd hun vaarsnelheid aan te passen. Uiteindelijk vonden de ontmoetingen uitgevoerd in de bocht van Bath bij ebstroom plaats op de locaties weergegeven in Figuur 10.



Figuur 10: Beoordelingsfiguur voor ontmoetingen in de bocht van Bath bij ebstroom

Van de 18 ontmoetingen die uitgevoerd werden in de bocht van Bath bij ebstroom kregen er 8 een beoordelingscijfer gelijk aan 1. Deze vaarten die probleemloos uitgevoerd werden, worden in Figuur 10 weergegeven in een blauwe kleur.

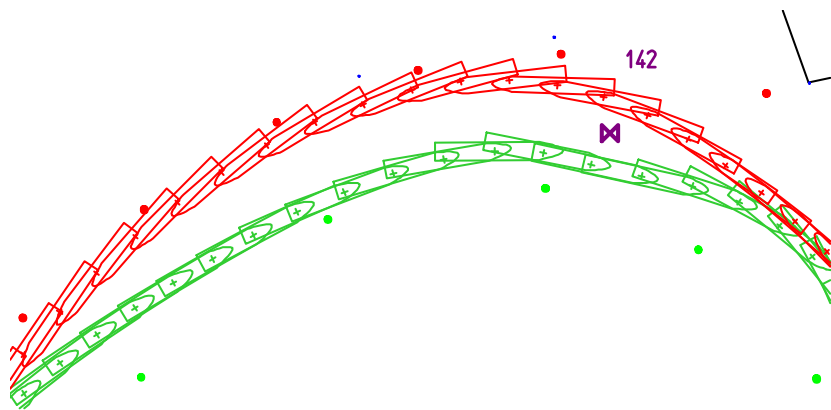
Opvallend is dat ondanks de oorspronkelijke opmerking van de loodsen dat ontmoetingen in de buurt van boei 75 te vermijden zijn, de ontmoeting in enkele vaarten plaats vond op korte afstand van deze boei. De vier ontmoetingen die plaatsvonden tussen boeien 66B en 75 kregen als beoordelingscijfer 1, 1.5, 2 en 3. De negatieve beoordeling van ontmoetingen in de buurt van boei 75 illustreren het ongunstige karakter van deze ontmoetingslocatie.

Bovendien blijken in mindere mate de ontmoetingen ter hoogte van boei 73 aanleiding te geven tot kleine boeiafstanden. De kleine boeiafstand in deze zone werd steeds verwezenlijkt door het afvarende schip. In deze zone immers voer het opvarende schip op grotere afstand van de groene boeienlijn om het aanstaande bochtmanoeuvre optimaal uit te voeren. Om een aanvaardbare tussenafstand te verwezenlijken diende het afvarende schip dicht bij de rode boeienlijn te varen. Van de drie ontmoetingen uitgevoerd ter hoogte van boei 73 werden er twee beoordeeld met cijfer 1.5 en één met beoordelingscijfer 2.

Ook ontmoetingen ter hoogte van boei 75A gingen vaak gepaard met problemen: getuige hiervan zijn de twee ontmoetingen met beoordelingscijfer 2.5. Ontmoetingen op die locatie resulteerden herhaaldelijk in problemen voor het afvarende schip. De loodsen verkozen steeds om de ontmoetingen uit te voeren met een zo klein mogelijke giersnelheid. Hierdoor kon de volledige ontmoeting uitgevoerd worden bij parallelle koersen waardoor de tussenafstand constant bleef en beter ingeschat kon worden. Een gevolg van deze strategie was echter dat de loodsen vaak de ontmoeting afwachtten alvorens de gierbeweging op te bouwen. Voor ontmoetingen uitgevoerd ter hoogte van boei 75A bleek het afvarende schip door de ontmoeting te lang te wachten met bochten, waardoor het op erg korte afstand van de rode boeienlijn kwam en belangrijke oevereffecten onderging (zie Figuur 11).

Anderzijds dient wel opgemerkt te worden dat ontmoetingen die iets meer opwaarts plaats vonden (ter hoogte van boei 77), probleemloos uitgevoerd werden. Dit wordt geïllustreerd door de vier ontmoetingen met beoordelingscijfer 1 in deze zone.

Opmerkelijk aan de ontmoetingen in de bocht van Bath is dat het overgrote deel van de problemen gepaard gingen met het afvarende schip.

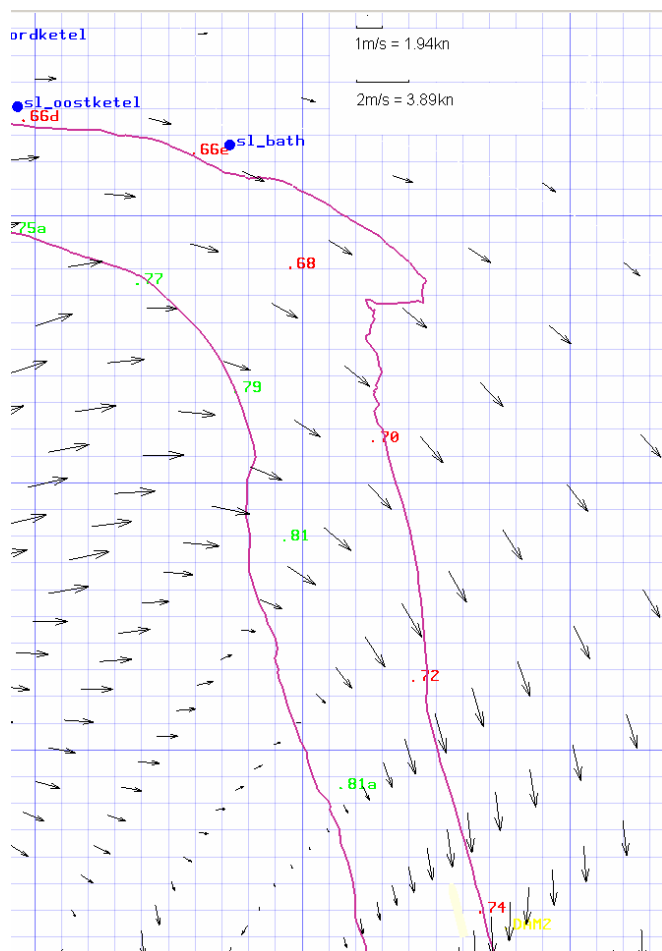


Figuur 11: Voorbeeld ontmoeting ten noorden van boei 75A bij ebstroom.

3.2.2 Bocht van Bath bij volle vloedstroom

Dezelfde locatie werd behalve bij volle ebstroom ook onderzocht bij volle vloedstroom. Hierbij werden geen moeilijkheden met oevereffecten ervaren. Bovendien werd geen van deze ontmoetingen uitgevoerd ter hoogte van boei 75.

Behalve de kleine kromtestraal en de smalle vaarweg treedt er bij volle vloedstroom nog een knelpunt op in de bocht van Bath. Door de hogere tijstand zal de vloedstroom over het verdronken land van Saeftinge stromen en een grote dwarsstroom genereren tussen boeien 77 en 81A (zie Figuur 12). De stroming bedroeg 3kn waarvan het aandeel dwars op de vaarweg op sommige plaatsen 1.8kn bedroeg.



Figuur 12: Illustratie dwarsstroom tussen boeien 77 en 81A bij volle vloedstroom

De startposities van eigenschepen bij scenario's uitgevoerd in de bocht van Bath bij volle vloedstroom werden zodanig gekozen dat indien de scheepssnelheden niet aangepast werden, de ontmoeting plaats zou vinden ter hoogte van boei 70, dus midden in de zone met hoge dwarse stroomsnelheden.

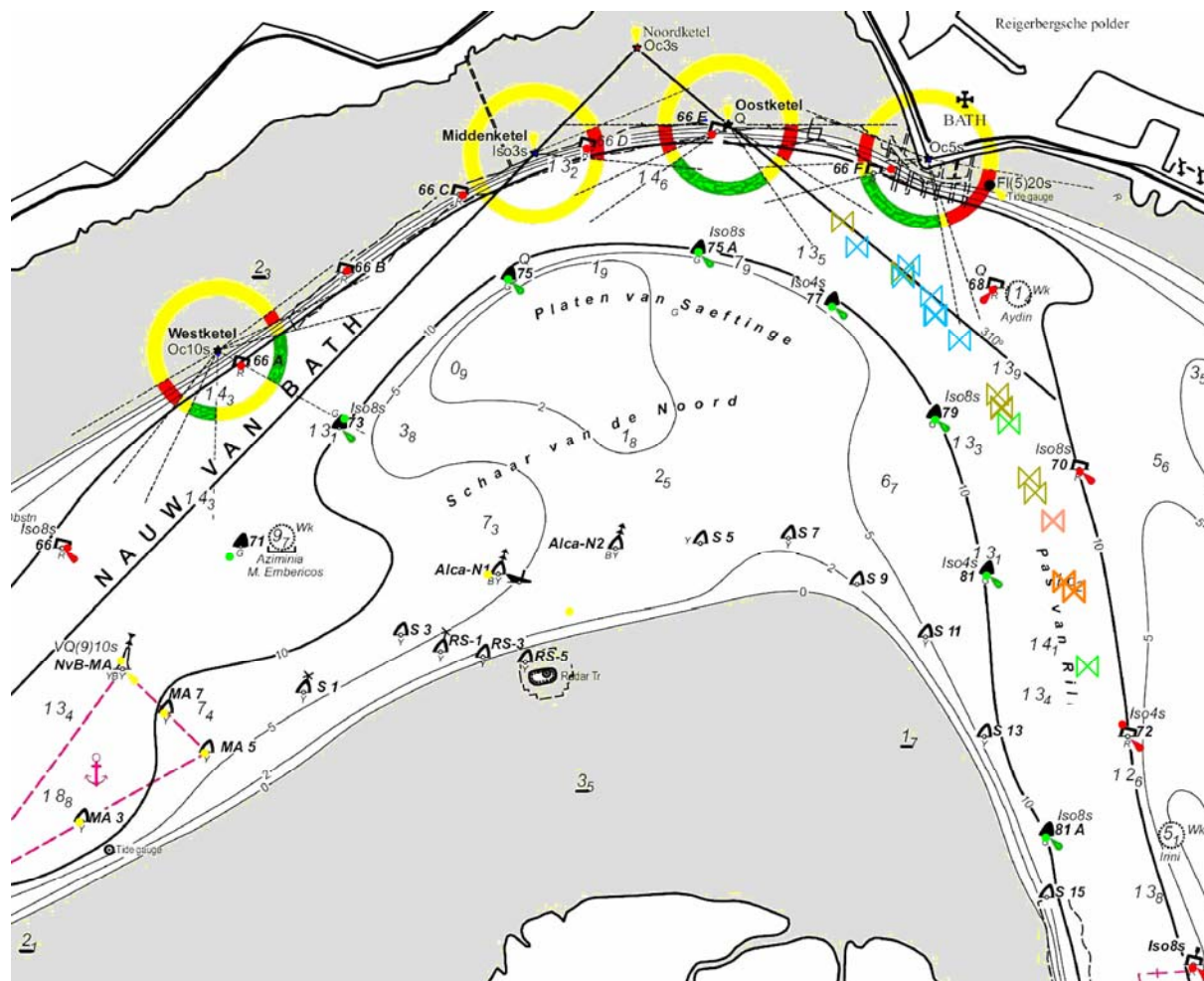
Er werden twintig dergelijke ontmoetingen uitgevoerd, met resultaten die erg afhankelijk bleken van de gekozen ontmoetingslocatie.

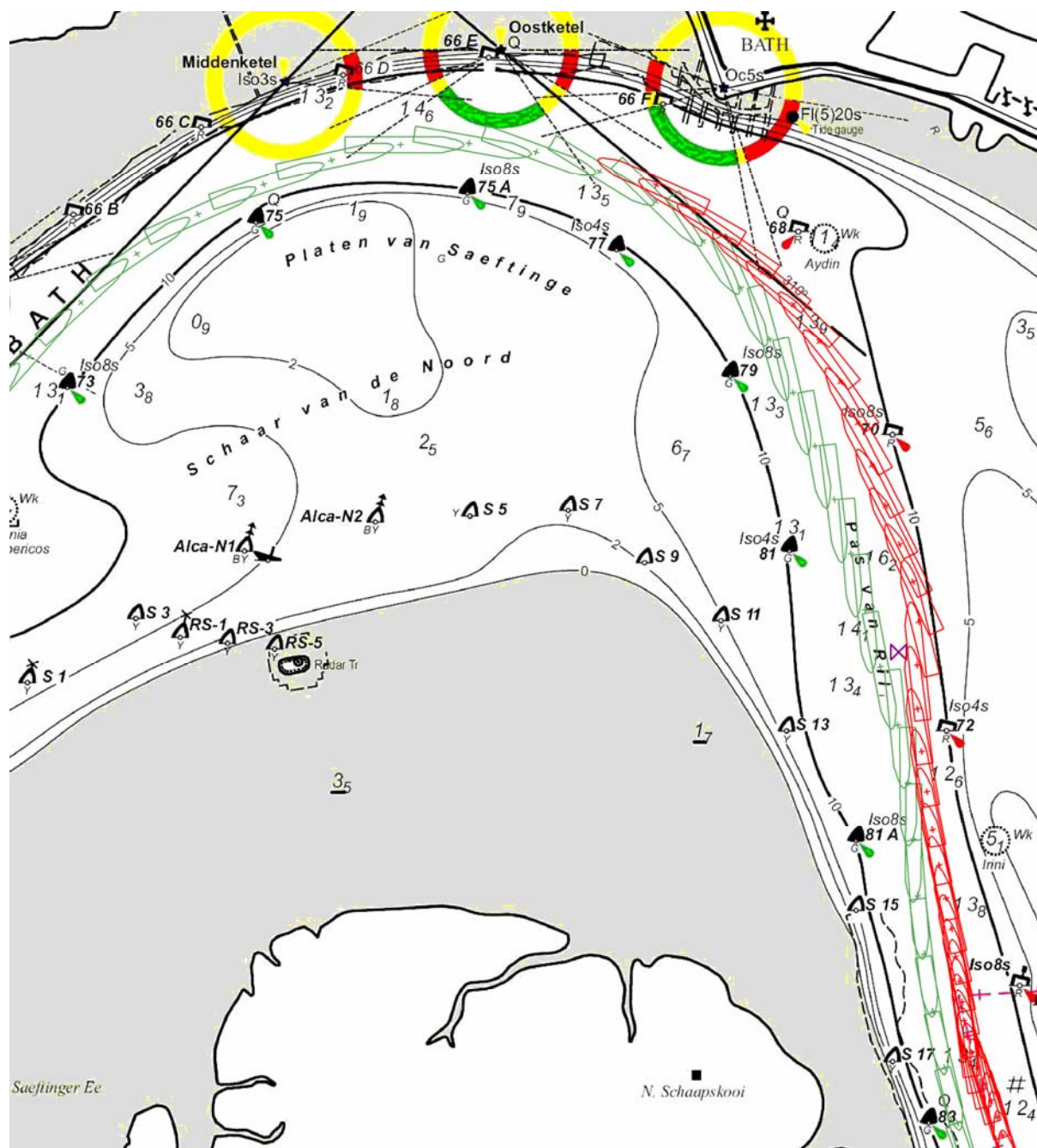
Op basis van Figuur 13 kan men verifiëren dat alle ontmoetingen bij deze condities plaats vonden tussen boeien 66F en 72. De kleurschakering per zone uit Figuur 13 is erg uitgesproken. De beoordeling van de ontmoetingen bleek het minst gunstig voor ontmoetingen uitgevoerd halverwege tussen boeien 70 en 72. Naargelang de ontmoetingen meer afwaarts uitgevoerd werden, werd de beoordeling gunstiger. Ontmoetingen uitgevoerd ter hoogte van boei 68 bleken probleemloos uitvoerbaar. De deelnemende loodsen bevestigden dat de problemen bij ontmoetingen in de bocht van Bath bij volle vloedstroom steeds te wijten waren aan de dwarsstroom tussen boeien 77 en 81A. De resultaten uit Figuur 13 illustreren bovendien de erg grote invloed van de dwarsstroom op de beoordeling van de ontmoetingen.

Het belangrijkste gevolg van de dwarsstroom was dat het opvarende schip zich bij het uitkomen van de bocht op grote afstand van de groene boeienlijn bevond. Het was tijdens de vaarten geen uitzondering dat het opvarende schip vanaf boei 79 meer dan de helft van het vaarwater innam. Vaak kon het opvarende schip pas opnieuw een aanvaardbare boeiafstand verwezenlijken ter hoogte van boei 81A.

Doordat het opvarende schip zich in de zone tussen boei 79 en 81A vaak op grote afstand van de groene boeienlijn bevond, diende het afvarende schip dicht bij de rode boeienlijn te varen om een aanvaardbare tussenafstand te genereren. Deze noodzakelijk kleine afstand tot de rode boeienlijn gecombineerd met de dwarsstroom die vanzelfsprekend ook vat had op het afvarende schip, resulteerde herhaaldelijk in contact tussen het afvarende schip en een rode boei.

Aangezien bij ontmoetingen ter hoogte van boei 68 het opvarende schip nog niet verzet werd door de dwarsstroom en aldaar bijgevolg nog een aanvaardbare afstand tot de groene boeienlijn respecteerde kenden ontmoetingen in deze zone geen problemen. Bovendien is de vaarweg ter hoogte van boei 68 breder dan het geval is in de problemenzone.





Figuur 14: Overzichtsfiguur van ontmoeting 58 uitgevoerd in de bocht van Bath bij volle vloedstroom

3.2.3 Ballastplaat bij volle ebstroom

Een tweede locatie onderzocht tijdens de tweede reeks scenariovaarten betrof de Ballastplaat. Deze locatie werd geselecteerd door de begeleidingscommissie wegens de herhaaldelijke problemen met oevereffecten waaraan het afvarende schip blootgesteld wordt op deze locatie. In de zone tussen boeien 80 en 78 ligt de oever immers op korte afstand van de boeienlijn. Bovendien is de waterdiepte ter hoogte van de boeienlijn erg beperkt. Dit zal een belangrijke invloed hebben op de manoeuvreereigenschappen van schepen met grote diepgang op deze locatie.

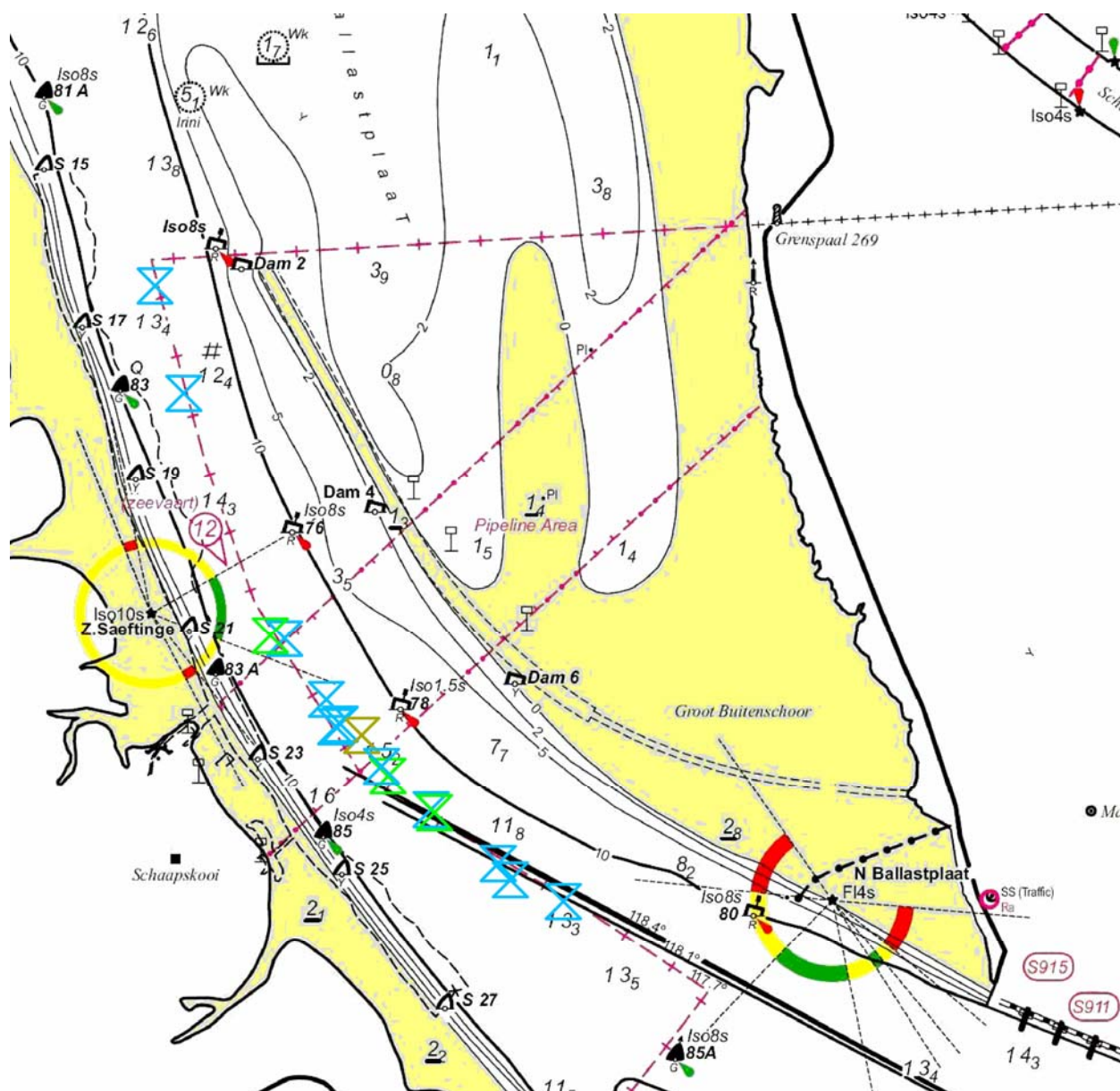
Er werden vijftien vaarten uitgevoerd ter hoogte van de Ballastplaat bij volle ebstroom. Een overzicht van de gekozen ontmoetingsposities wordt weergegeven in Figuur 15.

Uit de simulaties bleek dat het afvarende schip erg grote oevereffecten ondervond in de zone tussen boeien 80 en 78 indien tezelfdertijd aan twee voorwaarden voldaan werd. Als eerste diende het afva-

rende schip in de bewuste zone een snelheid door het water groter dan 12kn te verwezenlijken. Een tweede voorwaarde was dat het afvarende schip zich op een afstand kleiner dan 50m van de rode boeienlijn bevond. Indien aan beide voorwaarden voldaan werd, traden er erg grote oevereffecten op die grote roerhoeken vereisten en het bochten van het afvarende schip naar stuurboord vertraagden. In geen van de vaarten echter leidden de grote oevereffecten tot onaanvaardbare afstanden tussen de eigenschepen. De minimale gerespecteerde tussenafstand van alle vaarten uitgevoerd ter hoogte van de Ballastplaat bij ebstroom bedroeg 83m.

De grote tussenafstanden bij de condities uit dit hoofdstuk impliceerden dat gecombineerde beoordelingcijfers verschillend van 1 steeds te wijten waren aan boeifstanden kleiner dan 40m (zie Tabel 7). Viermaal werd de boeifstand kleiner dan 40m. In drie van deze vaarten betrof het de afstand verwezenlijkt tussen het afvarende schip en boei 78. In de vierde vaart was de afstand tussen het opvarende schip en boei 83A gelijk aan 39m.

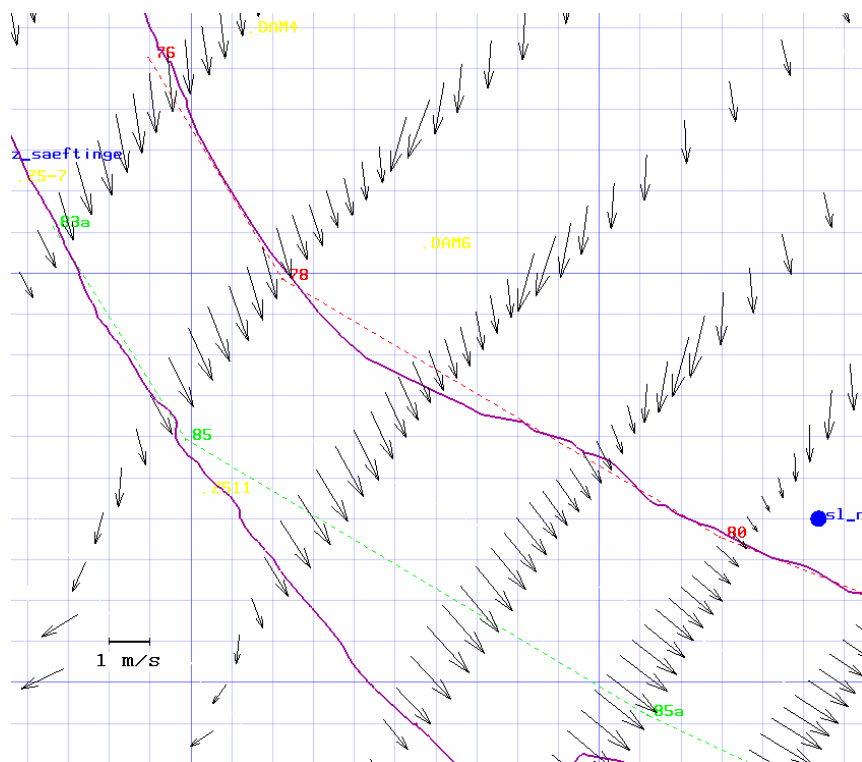
De loodsen oordeelden dat de moeilijkheden verbonden aan ontmoetingen ter hoogte van boei 78 bij ebstroom erg gering waren. De simulaties bij deze condities werden als relatief eenvoudig beschouwd.



Figuur 15: Beoordelingsfiguur voor ontmoetingen ter hoogte van de Ballastplaat bij volle ebstroom

3.2.4 Ballastplaat bij volle vloedstroom

Ontmoetingen uitgevoerd ter hoogte van de Ballastplaat bij volle vloedstroom kenden andere knelpunten dan deze bij ebstroom. Net als bij de ontmoetingen in de bocht van Bath bij volle vloedstroom werden de grootste problemen bij ontmoetingen ter hoogte van de Ballastplaat veroorzaakt door de dwarse component van de vloedstroom. Bij volle vloedstroom treedt er immers ook tussen boeien 85 en 85A een stromingscomponent dwars op de vaarweg op. De dwarse component is weliswaar veel gematigder dan in de zone tussen boeien 77 en 81A die voor problemen zorgde in de bocht van Bath, maar was desalniettemin de enige oorzaak van problemen bij ontmoetingen ter hoogte van de Ballastplaat. Het stromingsprofiel overeenkomstig met volle vloedstroom op de onderzochte locatie wordt gevisualiseerd in Figuur 16.



Figuur 16: Illustratie dwarsstroom tussen boeien 85 en 85A bij volle vloedstroom

Een eerste gevolg van de vloedstroom was dat het afvarende schip een grotere afstand respecteerde tussen boeien 80 en 78, waardoor de oevereffecten op dit schip beperkt bleven, dit in tegenstelling met vaarten uitgevoerd bij volle ebstroom.

Anderzijds werden de loodsen die het opvarende schip bestuurden in enkele vaarten verrast door de dwarsstroom tussen boeien 85 en 85A. Bij deze vaarten werd de afstand tussen het opvarende schip en de groene boeienlijn (meerbepaald boei 85A) klein. Ontmoetingen in de buurt van boei 85A vergrootten de kans op kleine afstanden tussen het opvarende schip en deze boei.

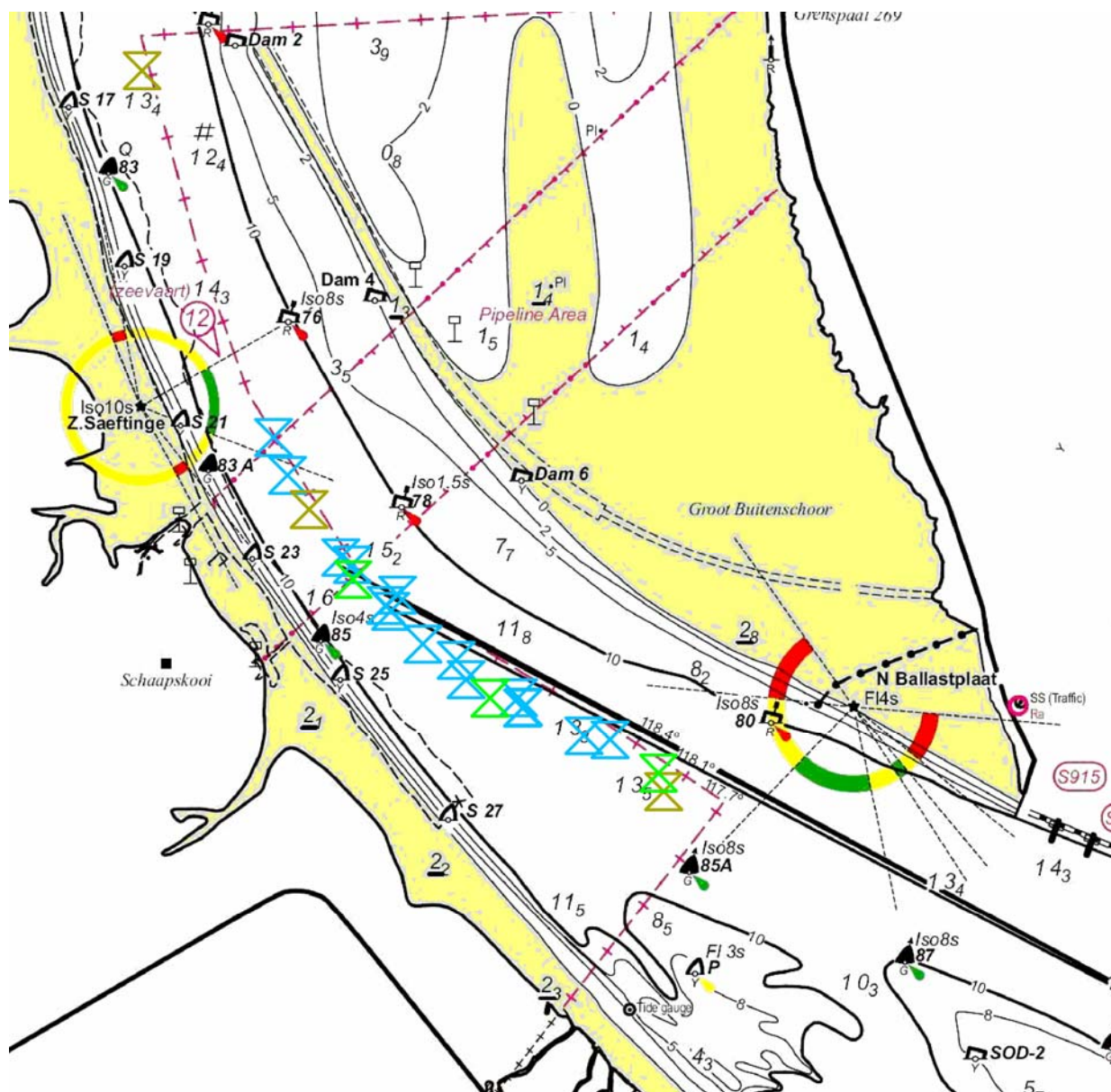
Er werden 21 ontmoetingen uitgevoerd ter hoogte van de Ballastplaat bij volle vloedstroom. Tijdens deze ontmoetingen bedroeg de afstand tussen de twee eigenschepen nooit kleiner dan 76m, en was dus aanvaardbaar. Net als bij de ontmoetingen op dezelfde locatie bij volle ebstroom waren gecombineerde beoordelingscijfers groter dan één steeds een gevolg van een kleine afstand (< 40m) tussen een eigenschap en een boei. In tegenstelling tot de ontmoetingen bij volle ebstroom, manifesteren de kleine boeiafstanden zich bij volle vloedstroom uitsluitend tussen het opvarende schip en de groene boeienlijn.

In Figuur 17 wordt de beoordelingsfiguur voor ontmoetingen uitgevoerd bij volle vloedstroom ter hoogte van de Ballastplaat weergegeven. De drie meest opwaartse ontmoetingen die gepaard gingen met een gecombineerd beoordelingscijfer groter dan 1 gingen gepaard met een afstand tussen het opvarende schip en boei 85A kleiner dan 40m. De twee andere ontmoetingen met een gecombineerd be-

oordelingscijfer groter dan 1 werden uitgevoerd met kleine boeifstanden tot respectievelijk boei 83A en boei 85.

Het overgrote deel van de ontmoetingen werd zonder problemen uitgevoerd. Ontmoetingen op dezelfde locatie kenden zowel een geslaagd als een minder geslaagd karakter. Enkel voor ontmoetingen ter hoogte van boei 85A kan men besluiten dat deze aanleiding geven tot een verminderde afstand tussen het opvarende schip en deze boei, met een minimum van 21m.

Net als bij ontmoetingen ter hoogte van de Ballastplaat bij volle ebstroom achtten de loodsen ook ontmoetingen op dezelfde locatie maar bij volle vloedstroom relatief eenvoudig.

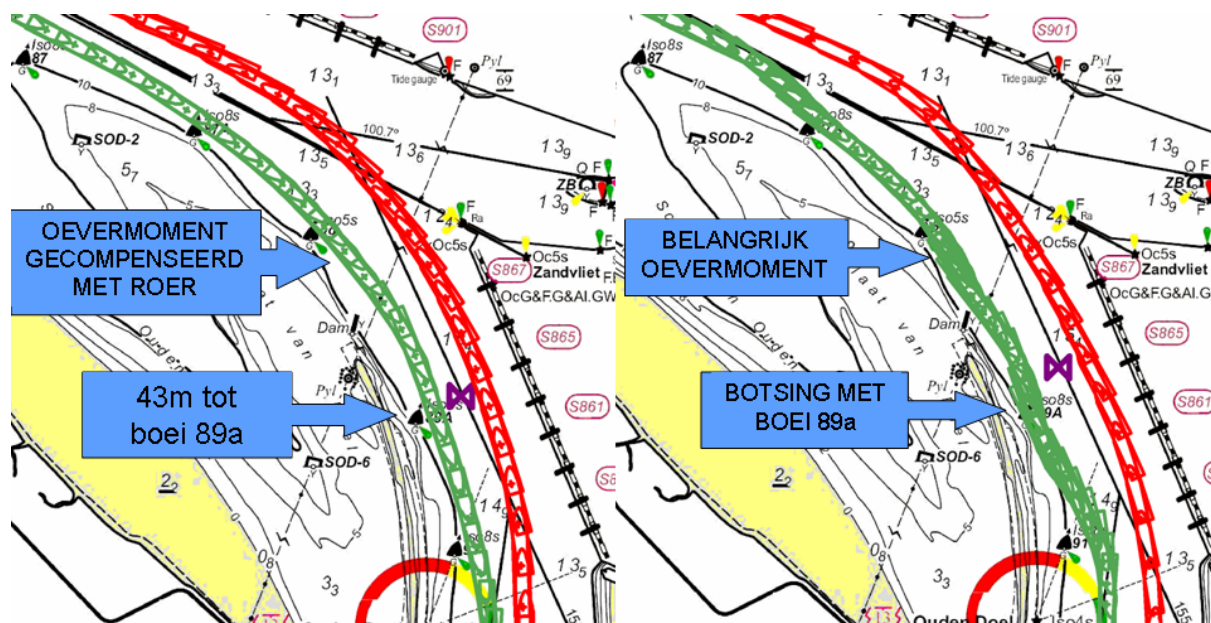


Figuur 17: Beoordelingsfiguur voor ontmoetingen ter hoogte van de Ballastplaat bij volle vloedstroom

3.2.5 Europaterminal bij volle ebstroom

Als laatste locatie werden ontmoetingen ter hoogte van de Europaterminal onderzocht. Ontmoetingen aldaar kennen een aantal aandachtspunten. Zo is de aanwezigheid van de strekdam op korte afstand buiten de groene boeienlijn verantwoordelijk voor een erg steile oever. Bovendien is de waterdiepte op de groene boeienlijn erg beperkt. Kleine afstanden tussen het opvarende schip en de groene boeienlijn gaven bijgevolg aanleiding tot grote oevereffecten.

Bij ontmoetingen uitgevoerd bij volle ebstroom ter hoogte van de Europaterminal was de afstand die het opvarende schip respecteerde tot de groene boeienlijn in enkele vaarten erg klein. Wanneer het opvarende schip hierdoor op korte afstand van de oever terecht kwam, werden bijgevolg grote oevereffecten ervaren die niet steeds opgevangen konden worden met behulp van het roer. Dit wordt geïllustreerd in Figuur 18 waarin twee ontmoetingen uitgevoerd op dezelfde locatie weergegeven worden. Tijdens de ontmoeting weergegeven op de linkerzijde van Figuur 18 kon het opvarende schip de oevermomenten compenseren met het roer en werd een erg gunstig traject afgelegd weliswaar op korte afstand van de groene boeienlijn. Bij de opvaart gevisualiseerd in de rechterhelft van Figuur 18 kwam het opvarende schip tussen boei 89 en 89A over de groene boeienlijn waardoor het een erg groot oevereffect ondervond. Net voor de ontmoeting werd de boeg van het opvarende schip afgestoten door de oever waardoor het opvarende schip naar het afvarende schip toe gierde. Om een aanvaardbare afstand tot het afvarende schip te behouden gaf het opvarende schip maximaal roer naar stuurboord. Hierdoor werd het oevereffect overgecompenseerd en trad een botsing op tussen opvarend schip en boei 89A.



Van de 19 vaarten uitgevoerd ter hoogte van de Europaterminal bij ebstroom trad er in twee vaarten contact op tussen het opvarende schip en een groene boei. Deze vaarten hebben op de beoordelingsfiguur (zie Figuur 19) een zalmroze kleur (beoordelingscijfer 2.5). Behalve tijdens deze twee ontmoetingen ging het opvarende schip ook in een derde vaart over de groene boeienlijn, echter zonder een boei te raken. In elk van deze drie vaarten kan men veronderstellen dat er contact optrad tussen het schip en de bodem.

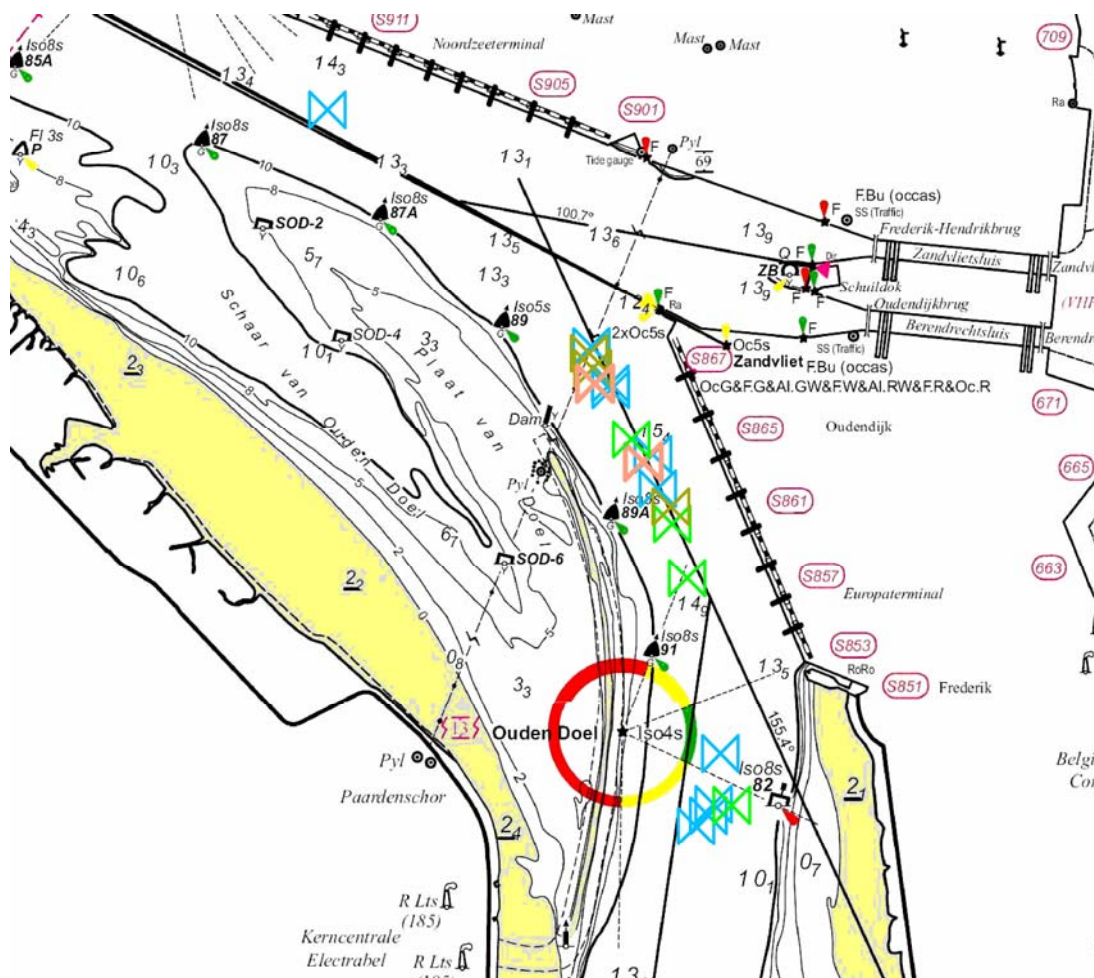
Bij twee ontmoetingen uitgevoerd ter hoogte van de Europaterminal bij volle ebstroom, genereerde het afvarende schip een inzinking aan de kaaimuur van meer dan 0.5m. Eén van deze vaarten werd uit-

gevoerd met een snelheid over de grond gelijk aan 11.8kn en op een afstand gelijk aan 40m tussen het afvarende containerschip en het buitenste bunkerschip.

Doordat in bijna alle vaarten uitgevoerd ter hoogte van de Europaterminal bij volle ebstroom het opvarende schip erg dicht bij de groene boeienlijn voer waren de gerespecteerde afstanden tussen beide schepen onderling aan de hoge kant. De minimale tussenafstand bedroeg 58m.

Op basis van Figuur 19 kan men afleiden dat het grootste deel van de ontmoetingen effectief uitgevoerd werd ter hoogte van de Europaterminal. Nochtans zijn de resultaten voor de ene ontmoeting die uitgevoerd werd ter hoogte van de Noordzeeterminal en de vijf ontmoetingen uitgevoerd ter hoogte van boei 82 over het algemeen veel gunstiger. Van de ontmoetingen die wel uitgevoerd werden ter hoogte van de Europaterminal zijn de resultaten veel minder gunstig. Ter hoogte van de Europaterminal werden zowel geslaagde als niet-geslaagde ontmoetingen uitgevoerd.

Er kan opgemerkt worden dat de geplande verdieping en verbreding van de Westerschelde de grote oevereffecten op het opvarende schip kunnen matigen.



Figuur 19: Beoordelingsfiguur voor ontmoetingen uitgevoerd ter hoogte van de Europaterminal bij volle ebstroom.

3.2.6 Europaterminal bij volle vloedstroom

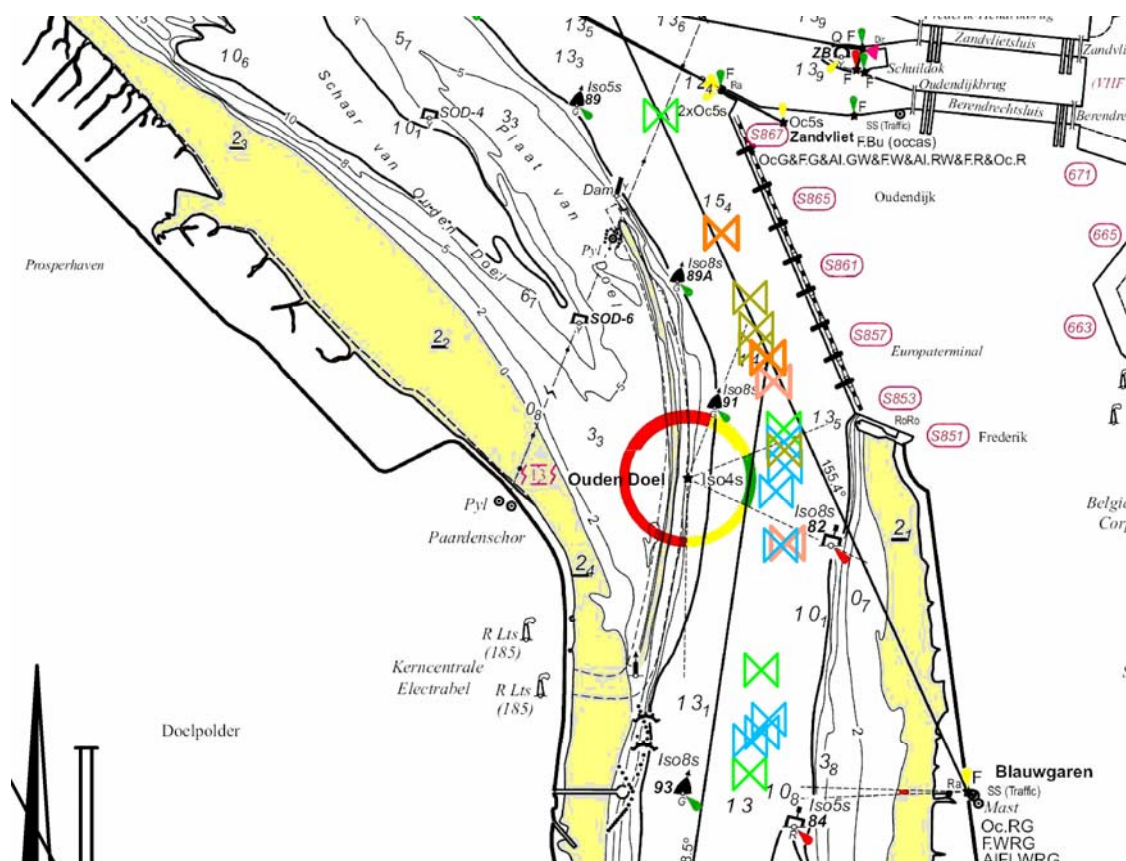
Het verloop van ontmoetingen uitgevoerd ter hoogte van de Europaterminal bij volle vloedstroom verschilde in hoge mate van deze uitgevoerd op dezelfde locatie bij volle ebstroom. Bij volle vloedstroom respecteerden de opvarende schepen steeds een relatief grote afstand tot de groene boeienlijn. Hierdoor ondervonden de opvarende schepen enerzijds weinig oevereffecten maar werd anderzijds de beschikbare vaarbreedte voor het afvarende schip nog smaller.

Er werden 19 ontmoetingen uitgevoerd ter hoogte van de Europaterminal bij volle vloedstroom op locaties weergegeven in Figuur 20. Door de grotere afstand die het opvarende schip respecteert ten opzichte van de groene boeienlijn zijn de afstanden die de beide eigenschepen onderling respecteerden kleiner dan bij ontmoetingen uitgevoerd bij volle ebstroom. Slechts zeven van de negentien ontmoetingen die plaatsvonden ter hoogte van de Europaterminal bij vloedstroom werden uitgevoerd bij een tussenafstand groter dan 70m. Voorts werden er acht ontmoetingen uitgevoerd bij een tussenafstand tussen 50m en 70m; twee ontmoetingen bij een tussenafstand tussen 30m en 50m en twee ontmoetingen uitgevoerd met tussenafstand kleiner dan 30m.

Opvallend is dat in geen van de ontmoetingen uitgevoerd tussen boeien 89 en 91 een ontmoeting met beoordelingscijfer 1 uitgevoerd kon worden. Bijna alle ontmoetingen uitgevoerd in deze zone kenden gecombineerde beoordelingscijfers groter of gelijk aan 2. Ook de deelnemende loodsen merkten op dat een ontmoeting waarbij een containerschip met grote afmetingen betrokken is steeds vermeden dient te worden ter hoogte van de Europaterminal bij volle vloedstroom.

Ontmoetingen uitgevoerd tussen boeien 91 en 92 werden uitgevoerd met wisselend succes. Ontmoetingen ter hoogte van boei 91 hebben als gevaar dat het afvarende schip de ontmoeting afwacht om het bochten aan te vatten en hierdoor op korte afstand van de kaaimuur terecht komt. Om deze reden lijken ontmoetingen ter hoogte van boei 92 te verkiezen boven ontmoetingen ter hoogte van boei 91. Nochtans blijkt een van de ontmoetingen ter hoogte van boei 92 niet geslaagd. Het betreft ontmoeting 92 waarbij het opvarende schip op erg grote afstand van de groene boeienlijn vaart en de afstand tussen op- en afvarend schip bijgevolg slechts 26m bedroeg. Ontmoetingen ter hoogte van boei 92 kunnen gepaard gaan met problemen indien het opvarende schip onvoldoende snel kan bochten.

Alle loodsen waren erover eens dat ontmoetingen ter hoogte van boei 93 aanvaardbaar uitgevoerd kunnen worden. Ook uit de simulaties blijken de gunstige resultaten van ontmoetingen ter hoogte van boei 93.



Figuur 20: Beoordelingsfiguur voor ontmoetingen uitgevoerd ter hoogte van de Europaterminal bij volle vloedstroom.

3.3 Squatresultaten

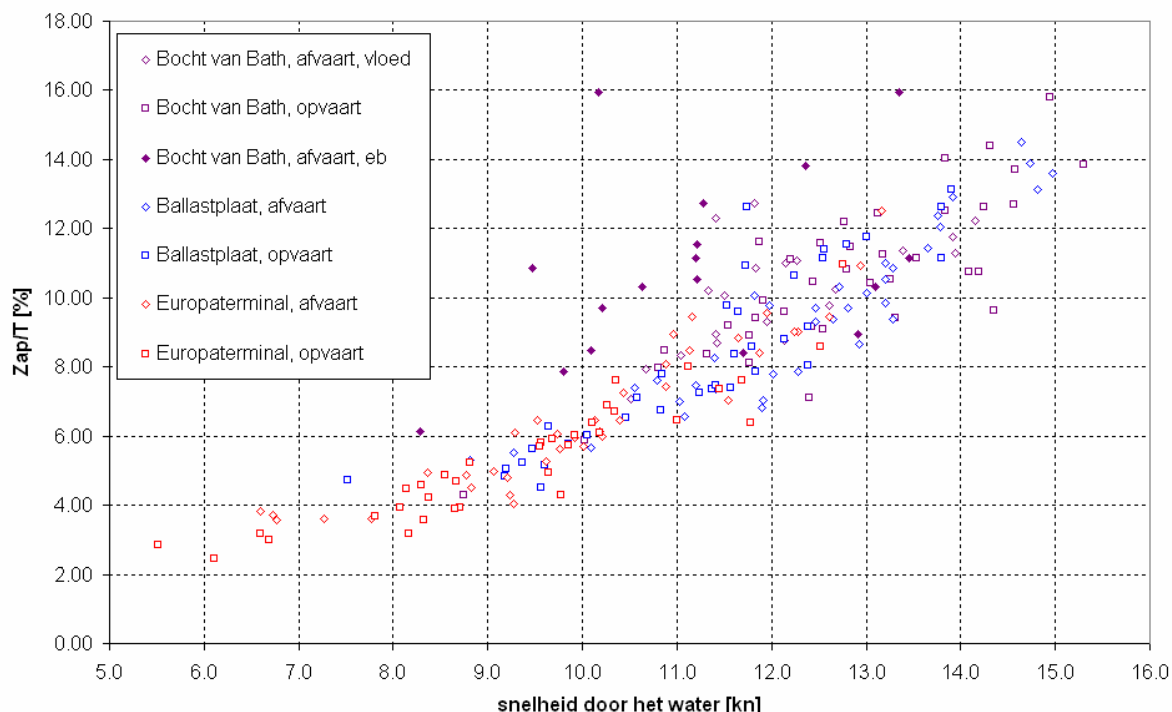
Tijdens de simulatievaarten uitgevoerd in oktober 2007, werden op basis van de in deelopdracht 1 (zie paragraaf 2.1) opgestelde squatmodellering, de inzinking van voor- en achterschip van de ontmoetende containerschepen berekend.

In deze vaarten zullen de maximale inzinkingswaarden die per vaart berekend werden het onderwerp vormen van een visualisatie van de squat tijdens ontmoetingen op de Westerschelde. In Figuur 21 wordt de maximale inzinking uit alle op- en afvaarten relatief ten opzichte van de heersende scheepsdiepgang weergegeven bij de snelheid door het water die het schip op dat moment respecteerde. Uit deze figuur blijkt duidelijk de meer dan kwadratische relatie tussen squat en scheepsnelheid. Nochtans blijkt ook bij lagere snelheden de inzinking soms grote waarden te bereiken. Het betreft steeds inzinkingen opgemeten bij afvaarten in de bocht van Bath bij ebstroom. De relatief grote inzinkingen bij relatief lage snelheden waren te wijten aan de grote oevereffecten die in deze vaarten optraden wanneer het afvarende schip in de rode boeienlijn terecht kwam.

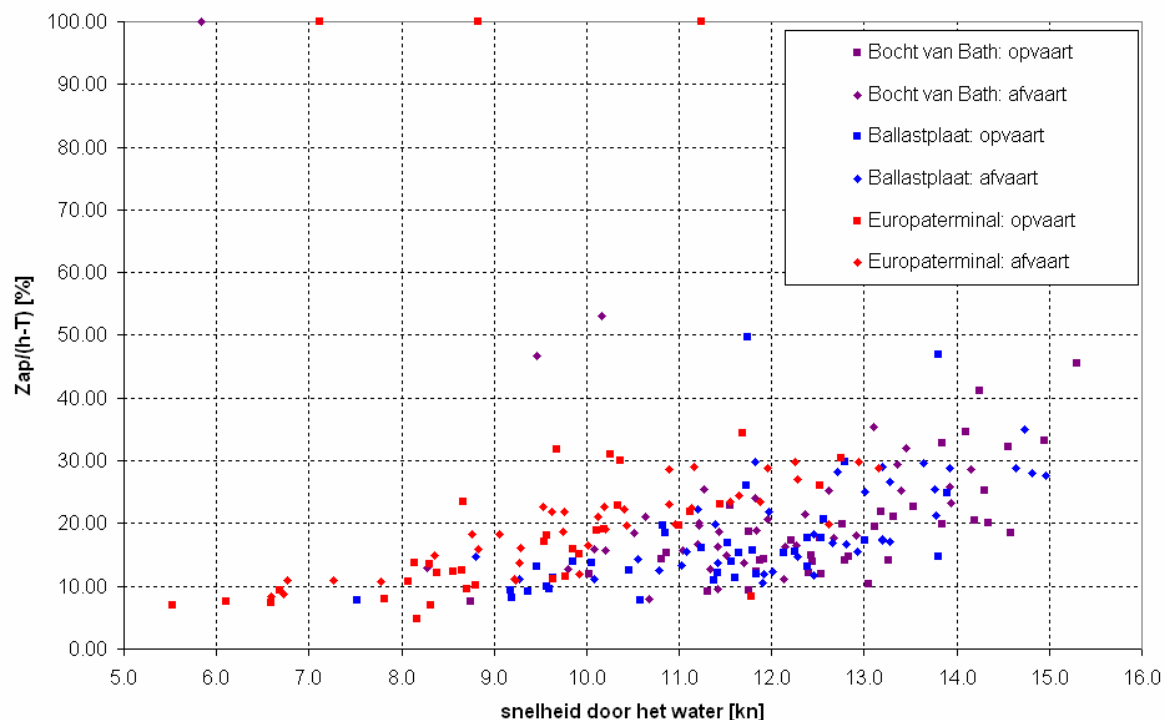
Ook bij drie opvaarten bij volle ebstroom ter hoogte van de Europaterminal werden grote oevereffecten waargenomen. Deze opvaarten gingen echter steeds gepaard met een voorspelde inzinking groter dan de beschikbare kielspeling waardoor de squatmodellering niet langer betrouwbare resultaten leverde. Ook bij één afvaart bij volle ebstroom in de bocht van Bath trad dit fenomeen op. De vier vaarten waarvan sprake worden niet weergegeven in Figuur 21.

Uit Figuur 21 kan bovendien opgemerkt worden dat de scenario's uitgevoerd ter hoogte van de Europaterminal gepaard gingen met de laagste scheepssnelheden.

Behalve uit Figuur 21 kan de squat tijdens de simulaties ook afgelezen worden uit Figuur 22 waarin de inzinkingen weergegeven worden in functie van de bruto kielspeling op dat moment. Met de bruto kielspeling wordt de kielspeling zonder rekening te houden met squat bedoeld. Voor de vier vaarten waarin de kielspeling na aftrek van de berekende squat negatief werd, werd dus 100% van de beschikbare kielspeling ingenomen door squat. In alle andere vaarten bleef de inzinking kleiner dan de helft van de bruto kielspeling.



Figuur 21: Maximale inzinking uit alle vaarten relatief ten opzichte van de diepgang waarmee de vaart uitgevoerd werd in functie van de snelheid door het water



Figuur 22: Maximale inzinking uit alle vaarten relatief ten opzichte van de bruto kielspeling in functie van de snelheid door het water

3.4 Invloed scheepsafmetingen

3.4.1 Real-time simulaties

Rekening houdend met het opzet van de studie werd getracht de invloed van de verschillende scheepsafmetingen op de uitgevoerde manoeuvres te begroten.

De loodsen werd herhaaldelijk gevraagd of verschillende scheepsafmetingen een belangrijke invloed hadden op de manoeuvres. Het antwoord was steeds negatief. De reserves van deze schepen diende slechts zelden aangesproken te worden en de vaarten bleken dezelfde slaagkansen te hebben bij vaarten uitgevoerd bij een schip met scheepslengte 366m als bij een schip met scheepslengte 397.5m. De grootste invloed van de verschillende scheepsafmetingen had volgens de loodsen niet zozeer te maken met het verschillende manoeuvreergedrag van de schepen, maar eerder met de verschillende langsscheepse positie van de scheepsbrug (zie paragraaf 2.5.2).

Er werd getracht om de invloed van de scheepsafmetingen uitgaande van de resultaten uit de 224 vaarten op een objectieve manier weer te geven. Hiervoor werden per scheepsconfiguratie de gemiddelde waarden berekend voor drie beoordelingsparameters uit de simulaties. Het betrof:

- de gemiddelde afstand tussen de scheepsrump en de boeien (groene boeienlijn voor opvaarend schip en rode boeienlijn voor het afvarende schip);
- de gemiddelde tussenafstand gerespecteerd bij ontmoetingen;
- het gemiddelde gecombineerde beoordelingscijfer bij ontmoetingen zoals gedefinieerd in Tabel 7.

De gemiddelde waarden per scheepsconfiguratie voor de drie parameters worden weergegeven in Tabel 8. De resultaten blijken het meest gunstig voor de vaarten uitgevoerd met schepen met lengte 381m.

De beoordeling op basis van boeifstanden is minst gunstig voor het grootste onderzochte containerschip terwijl op basis van het gecombineerde beoordelingscijfer de ontmoetingen uitgevoerd met een schip met lengte 366m de minst gunstige resultaten kenden.

Op basis van de drie geselecteerde parameters kan geen verband afgeleid worden tussen de scheepsafmetingen en de resultaten uit de simulaties.

Tabel 8: Invloed van scheepsafmetingen op basis van real-time simulaties

	$L_{OA} = 366\text{m}$	$L_{OA} = 381\text{m}$	$L_{OA} = 397\text{m}$
boeifstanden [m]	102.9	106.8	99.9
tussenafstanden [m]	118.6	120.9	118.9
gecombineerd beoordelingscijfer [-]	1.52	1.42	1.45

3.4.2 Deskstudie

Behalve op basis van real-time simulaties werden in het kader van de studie ook resultaten verkregen uit deskstudies. Het opzet van dergelijke deskstudies werd beschreven in paragraaf 2.5.1. Aan de hand van een vergelijking tussen enerzijds de giarmomenten noodzakelijk voor het bochten en compenseren van oever en stroomeffecten en anderzijds het voor handen zijnde stuurmoment kunnen de manoeuvreerreserves in verschillende situaties onderling vergeleken worden. De verhouding tussen de momenten noodzakelijk voor het uitvoeren van bochtmanoeuvres en het voor handen zijnde stuurmoment, wordt de benodigde roercapaciteit genoemd. Indien deze waarde groter wordt dan 100%, zijn de te overwinnen momenten noodzakelijk voor het uitvoeren van een bochtmanoeuvre groter dan het moment dat - rekening houdend met de telegraafstand - geleverd kan worden door het roer. Uit benodigde roercapaciteiten groter dan 100% kan men echter niet besluiten dat het bochtmanoeuvre in de gegeven omstandigheden niet uitvoerbaar is. In de deskstudie wordt immers een momentbalans beschouwd op één scheepspositie. Indien in realiteit de roercapaciteit onvoldoende is om op constante afstand van de groene boeienlijn te varen, zal het schip – doordat het trager giert dan de kromming van de bocht – op grotere afstand van de boeienlijn terecht komen en kleinere oevereffecten ervaren. Hierdoor dalen de te overwinnen oevermomenten en wordt de benodigde roercapaciteit mogelijks opnieuw kleiner dan 100%.

Een vergelijking van de benodigde roercapaciteiten bij verschillende condities kan echter wel een duidelijk beeld scheppen over veranderingen in de manoeuvreerreserves die gepaard gaan met verschillende condities. Zo werd de deskstudie gebruikt om de invloed van verschillende parameters op de uitvoerbaarheid van bochtmanoeuvres te onderzoeken. Eén van deze parameters betrof de scheepsafmetingen.

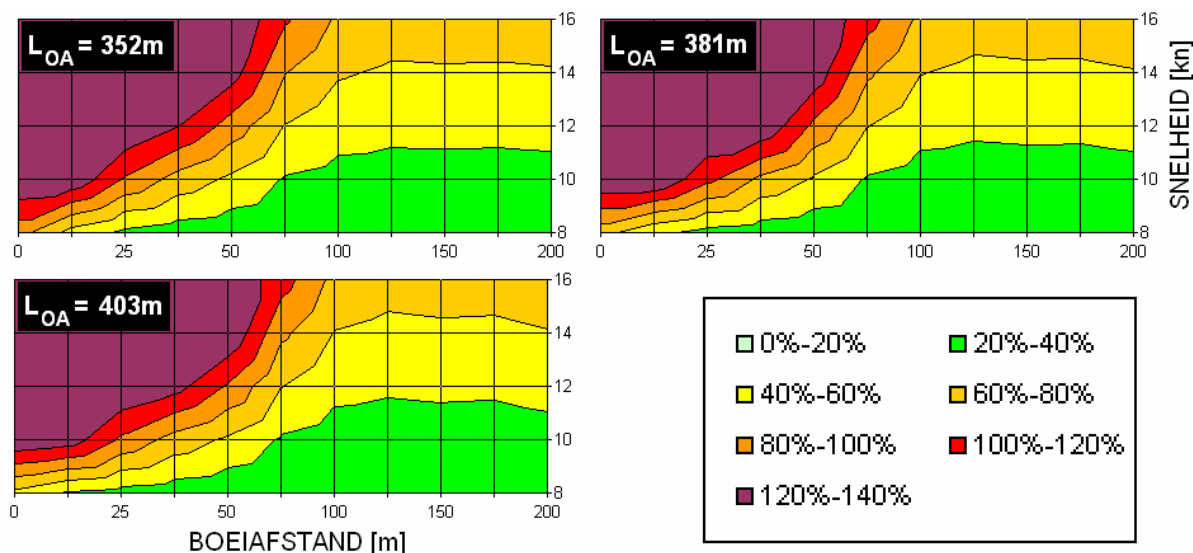
Hiervoor werd het onderzochte scheepsmodel geëvalueerd bij drie schaalfactoren waardoor onderstaande scheepsconfiguraties onderling vergeleken konden worden:

- $L_{PP}=331.8\text{m}$, $L_{OA}=352\text{m}$, $B=42.8\text{m}$
- $L_{PP}=359.3\text{m}$, $L_{OA}=380.5\text{m}$, $B=46.4\text{m}$
- $L_{PP}=379.8\text{m}$, $L_{OA}=402.9\text{m}$, $B=49.0\text{m}$

De benodigde roercapaciteit werd berekend voor een opvarend schip ter hoogte van boei 75 in de bocht van Bath bij een minimale waterstand (waterpeil=-0.32m t.o.v. TAW) en een bijhorende eb-

stroom gelijk aan 0.95kn. De drie scheepsconfiguraties worden onderzocht bij een diepgang gelijk aan 14m. Men dient op te merken dat rekening houdend met de drempels voor en na de bocht van Bath een schip met dergelijke diepgang de bewuste locatie nooit kan bereiken. Voor het opzet van de deskstudie is dit echter geen bezwaar.

De benodigde roercapaciteit wordt gevisualiseerd aan de hand van kleurvlakken in functie van enerzijds de gerespecteerde afstand tussen scheepsboord en boei 75 (horizontale as) en anderzijds de scheepssnelheid door het water (verticale as). De resultaten in de condities zoals hierboven beschreven worden weergegeven in Figuur 23 indien de telegraafstand van het schip overeenkomt met Harbour Full. Op basis van deze figuur lijken de afwijkingen van de benodigde roercapaciteit miniem.



Figuur 23: Invloed van scheepsafmetingen op de benodigde roercapaciteit uit deskstudie II.

Om een beter beeld te geven van de toename van de benodigde roercapaciteit bij grotere scheepsafmetingen wordt één combinatie van boeifstand en snelheid meer in detail besproken. Hieronder wordt voor de verschillende scheepsconfiguraties de benodigde roercapaciteit gegeven voor een schip dat een boeifstand van 75m en een snelheid door het water van 14kn respecteerde:

- $L_{OA} = 352m$: benodigde roercapaciteit = 81.0%;
- $L_{OA} = 380.5m$: benodigde roercapaciteit = 83.6%;
- $L_{OA} = 402.9m$: benodigde roercapaciteit = 84.5%.

Ook uit deze waarden blijkt de beperkte invloed van de scheepsafmetingen op het manoeuvreergedrag van het schip.

4 SAMENVATTING EN VERVOLG

Dit rapport bevat een overzicht van de activiteiten met betrekking tot onderzoeksproject Mod. 689/4: op- en afvaartregeling voor 8000 en meer TEU containerschepen tot de haven van Antwerpen bij een maximale diepgang van 145 dm. Het opzet van dit document is het verstrekken van een basis voor een objectieve, wetenschappelijk gefundeerde evaluatie van de impact van de nieuwe generatie containerschepen tot de haven van Antwerpen.

Hiervoor werd een uitgebreid onderzoek opgestart naar squat, manoeuvreereigenschappen, schip-schip interactie en oeverzuiging, op basis van uitgebreide sleeptankproeven. Dit liet toe op realistische wijze het gedrag van de onderzochte schepen in beperkte wateren (in het bijzonder de Westerschelde) te modelleren.

De uiteindelijke modellering werd toegepast om het gedrag van de onderzochte schepen (met lengtes over alles van 352, 366, 380 en 400 m) te evalueren aan de hand van deskstudies en real-time scenariovaarten op de scheepsmanoeuvresimulatoren van het Waterbouwkundig Laboratorium te Antwerpen. Beide simulatoren werden gekoppeld zodat de ontmoeting tussen twee grote containerschepen werd gerealiseerd vanop twee afzonderlijke scheepsbruggen bemand met loodsen. De nadruk in dit rapport ligt op de real-time scenariovaarten uitgevoerd in het najaar van 2007 met schepen met lengtes vanaf 366 m.

Er werden door middel van real-time vaarten ontmoetingen uitgevoerd op plaatsen langs de Westerschelde en bij weers- en getijomstandigheden die door de begeleidingscommissie als moeilijk werden bestempeld. Dit betekent een windconditie van WZW 5 Beaufort gemiddeld met pieken tot 7 Beaufort en bij volle vloedstroom (1 uur voor Hoog Water) of bij volle ebstroom (2 uur voor Laag Water). De onderzochte locaties waren Bocht van Bath, Ballastplaat en de Europaterminal. Er werden geen vaarten uitgevoerd bij minder wind en minder stroom hoewel een groot deel van de ontmoetingen in de realiteit zal plaatsvinden bij meer gematigde omstandigheden.

112 ontmoetingen werden op de simulatoren uitgevoerd tijdens de real-time vaarten in 2007 waarbij deze werden geëvalueerd door middel van een systematische beoordeling van elk gevaren traject. Hiervoor werden de volgende criteria opgesteld:

- de minimale tussenafstand tussen de schepen tijdens de ontmoeting;
- de minimale afstand tot de boeien die in verband gebracht kunnen worden met de ontmoeting; dit is de gerespecteerde afstand tot de oevers van de vaarweg;
- de gegenereerde golf ter hoogte van de Europaterminal, berekend op basis van de gerespecteerde afstand tot de kaaimuur en de plaatselijke snelheid door het water van het afvarende schip. Dit criterium werd uiteraard enkel meegenomen in de vaarten ter hoogte van de Europaterminal.

Algemeen kan men stellen dat er locaties zijn langs de Schelde waar ontmoetingen bij deze extreme omstandigheden qua stroom en wind moeten vermeden worden. Een aantal van deze locaties wordt in de huidige praktijk reeds gemedend; dit is o.a. het geval bij boei 75. Men stelt echter vast dat ook op deze te mijden locaties geslaagde ontmoetingen zijn uitgevoerd.

De invloed van de scheepsafmetingen en dus van de schaalvergroting tot schepen met lengtes van 366 tot 400 m kon niet achterhaald worden uit de resultaten van de simulatievaarten. De invloed van de scheepsafmetingen op de controleerbaarheid van het schip bleek ook op basis van de resultaten van de deskstudie beperkt. Men kan dus veronderstellen dat de scheepsafmetingen binnen het onderzochte bereik een weinig significante invloed zullen hebben op de manoeuvres zelf maar dat de manoeuvreerbaarheid van het schip (bepaald door scheepsvorm, karakteristieken van schroef en roer, overeenkomst telegraafstanden en toerentallen schroef) bepalend zal zijn.

De invloed van de toename in diepgang houdt verband met de beschikbare kielspeling (ruimte onder de kiel van het schip) en de squat (dit is gemiddelde verticale inzinking en trim van het schip onder

invloed van het varen van het schip). Het toelatingsbeleid op de Schelde is gebaseerd op een kielspeling van 12.5% van de diepgang voor een stilliggend schip. De parameters die squat of dus de inzinking van het schip bepalen bij varen, zijn zeer talrijk maar de scheepssnelheid is hierin een belangrijke en te controleren parameter. De inzinking neemt immers (meer dan) kwadratisch toe met de snelheid van het schip door het water.

De vaarten werden uitgevoerd bij de getij-onafhankelijke diepgang na de verdieping, namelijk 13.1 m, en bij een diepgang van 14.5 m. Men stelt vast dat voor de beproefde omstandigheden één moment van het getij (of dus stroom) overeenkomt met één waterstand. Indien de diepgang toeneemt van 13.1 m tot 14.5 m betekent dit dat de kielspeling afneemt met 1.4 m voor het schip in rust. Algemeen zal een afname van de kielspeling leiden tot een toename van de squat zodat een grotere diepgang van 14.5 m aanleiding geeft tot een grotere squat bij gelijkblijvende waterstand. Er wordt geen relatie vastgesteld tussen de scheepslengte en de optredende squat.

Tijdens alle vaarten trad de maximale inzinking op aan het achterschip waarbij de maximaal opgemeten waarde ongeveer 2 m bedroeg bij een snelheid door het water van ongeveer 14 knoop. In alle onderzochte scenario's werd de overblijvende kielspeling echter nooit kleiner dan de helft van de kielspeling beschikbaar bij stilliggend schip of dus de brutokielspeling zonder rekening te houden met squat (voor het overgrote deel bleef een kielspeling van 70 tot 90% van de brutokielspeling over). Het reduceren van de snelheid in ondiepe zones heeft een zeer gunstig effect op de inzinking en dus de overblijvende kielspeling.

De acties die ondernomen dienen te worden door alle betrokken partijen worden opgesomd en zijn overgenomen uit de publieke presentatie van dit rapport:

- Een onderbouwde nieuwe versie van de op- en afvaartregeling voor containerschepen dient opgesteld te worden voor de huidige situatie. Deze op- en afvaartregeling zal aangepast moeten worden na de verdieping van de Westerschelde.
- Een doorgedreven verkeersbegeleiding op alle niveaus is vereist om ontmoetingen in goede banen te leiden en ontmoetingen op kritieke locaties te vermijden indien de tijomstandigheden dit vereisen. Training op de scheepsmanoeuvresimulators kan hiertoe een waardevolle bijdrage leveren, naast opbouw van "know how on the job".
- Als bijkomende randvoorwaarde dienen een aantal zekerheden ingebouwd te worden, onder andere in verband met bijvoorbeeld ketenbenadering en manoeuvreerbaarheid van schepen. Vervolgstudies maken het mogelijk om minder extreme (en dus frequenter voorkomende) situaties te evalueren met betere tijmomenten en minder wind.

REFERENTIES

- [1] Delefortrie G., Vantorre M., Eloot K., *“Het uitvoeren van proeven en het opstellen van wiskundige manoeuvreermodellen voor 8000 TEU containerschepen voor de toegang tot de Vlaamse havens – eindrapport”*, Mod. 749, Universiteit Gent/Waterbouwkundig Laboratorium, Gent/Antwerpen, mei 2007
- [2] Vantorre M.; Laforce E.; Verzhbitskaya E. Model test based formulations of ship-ship interaction forces for simulation purposes; IMSF Annual General Meeting. Genoa (Italy), september 2001.
- [3] Lataire, E.; Vantorre, M., Laforce E. *Oeverzuigingseffecten op schepen veroorzaakt door taluds, randen van platen en hellende bodem, Eindrapport*. Onderzoeksproject UGent 174G2305, WL Mod. 778. Antwerpen, oktober 2007.
- [4] *Overeenkomst 16EB/05/06: technische bepalingen voor de uitvoering van de aannemingsopdracht van diensten betreffende de op- en afvaartregeling voor 8000 (en meer) TEU containerschepen tot de haven van Antwerpen bij een maximale diepgang van 145dm*. Onderzoeksproject UGent 174C8905, WL Mod. 869/4. Gent / Antwerpen, mei 2005.
- [5] Eloot K., Laforce E., *“Haven van Antwerpen: toegankelijkheid 366, 380 en 400 m containerschepen: opstellen van wiskundige manoeuvreermodellen”*. Mod. 804/2, Waterbouwkundig Laboratorium, Antwerpen, augustus 2007
- [6] Eloot, K.; Vantorre, M. *Eindrapport: zla031040090: Nautisch onderzoek, Nauw van Bath*; WLH-UGent, september 2004.
- [7] Vantorre, M. *Eindrapport: Invloed van scheepvaartverkeer op afgemeerde binnenschepen*: UGent-WLH, december 2004.

BIJLAGE: OVERZICHT NEVENONDERZOEKEN

ONDERZOEKSPROJECT		Start datum	Eind datum	Duur	Kost	# proeven
nr.	naam	[-]	[-]	[-]	[€]	[-]
M518	Scheepsbewegingen in de Scheurpas	1/08/1999	30/09/2000	14 maanden	41026	5243
M582	Bepaling van de nautische bodem in de haven van Zeebrugge	1/10/1998	heden	9 jaar	196653	1179
M614	Interactie tussen schepen	1/06/2000	30/11/2000			1209
M642	Probabilistisch toelatingsbeleid tot de Vlaamse havens	4/10/2000		30 maanden	196560	-
M689/4	Op- en afvaartregeling voor 8000 (en meer) TEU containerschepen tot de haven van Antwerpen bij een maximale diepgang van 145 dm.	1/01/2006	31/12/2007	24 maanden	209810	486
M749	Uitvoeren en opstellen van wiskundige manoeuvreermodellen voor 8000 TEU containerschepen voor de toegang tot de Vlaamse havens.	19/03/2004	8/06/2007	38 maanden	120000	1331
M771	Nautisch onderzoek: Nauw van Bath	22/07/2004	6/09/2004	1.5 maand		-
M778	Oeverzuigingeffecten op schepen veroorzaakt door taluds, randen van platen en hellende bodem	1/10/2005	31/10/2007	25 maanden	245000	11000
M804/2	Toegang 380/400 m schepen tot de haven van Antwerpen (13000 TEU)	1/12/2006	31/08/2007		23540	-



Waterbouwkundig Laboratorium

Flanders Hydraulics Research

Berchemlei 115
B-2140 Borgerhout (Antwerpen)

Tel. +32 (0)3 224 60 35
Fax +32 (0)3 224 60 36

E-mail: waterbouwkundiglabo@vlaanderen.be
www.watlab.be



Universiteit Gent

Afdeling Maritieme Techniek

Technologiepark 904
B-9052 Zwijnaarde (Gent)

Tel. +32 (0)9 264 55 59
Fax +32 (0)9 264 58 43

E-mail: maritiem@ugent.be
www.maritiem.ugent.be

**Sleeptank voor manoeuvres in Ondiep water
Samenwerking Universiteit Gent – Waterbouwkundig Laboratorium**