

Het beheer van lege containers in een goed werkend transportsysteem

Jort Kerremans

promotor :
Prof. dr. Gerrit JANSSENS

WOORD VOORAF

Deze masterproef vormt het sluitstuk van mijn vijfjarige masteropleiding Verkeerskunde aan de Universiteit Hasselt. Bij de toewijzing van de verschillende projecten leek het me een uitgelezen kans en uitdaging om het, voor de meesten nog onbekende onderwerp, "beheer van lege containers in een goed werkend transportsysteem" nader te onderzoeken.

Deze eindverhandeling is in alle opzichten zeer leerrijk geweest voor mij en ik heb met veel voldoening naar het eindresultaat toegewerkt. Tijdens het schrijven van deze eindverhandeling heb ik steeds op de medewerking van een aantal personen kunnen vertrouwen, aan wie ik graag een woord van dank wil richten.

In de eerste plaats gaat mijn dank uit naar mijn promotor, prof. dr. Gerrit Janssens voor zijn deskundige begeleiding en nodige feedback doorheen dit ganse werkstuk. Vervolgens wil ik ook nog dhr. Kris Braekers (IMOB) bedanken voor het bijbrengen van wetenschappelijke kennis en literatuur over het onderwerp in kwestie evenals voor zijn begeleiding en kritisch advies doorheen deze verhandeling.

Verder wil mijn ouders bedanken die steeds een helpende hand waren doorheen dit gehele werk en die me steeds een ruggensteun gaven gedurende dit toch wel zware jaar voor mij.

Jort Kerremans

Universiteit Hasselt, mei 2010

SAMENVATTING

De maritieme sector en het maritieme (container-)transport hebben de voorbije decennia wereldwijd een indrukwekkende groei gekend, voornamelijk als gevolg van de economische groei van Aziatische grootmachten als China en India die de voorbije decennia een forse economische ontwikkeling kenden. Containers, als gestandaardiseerde eenheid, zijn sinds hun ontstaan in de jaren zestig uitgegroeid tot de belangrijkste manier om handelswaren en stukgoederen te transporteren. Containerisatie creëert immers een enorme reductie van de transportkosten en afhandelingskosten in havens en andere overslagpunten. Zo heeft containerisatie ervoor gezorgd dat transport sneller en efficiënter kan verlopen. Bovendien maakt containerisatie het mogelijk om meerdere ladingen tegelijk te behandelen.

Ondanks de bereikte transportverbeteringen die containerisatie heeft teweeg gebracht, is ook het volume van lege containers dat dient verplaatst te worden van consumptie naar productie regio's aanzienlijk toegenomen. Tevens brengt dit een significant aantal lege voertuigbewegingen met zich mee die een ongebalanceerde voertuigstroom veroorzaken tussen twee specifieke punten en een hoge kostencomponent voor leeg transport met zich meedragen. Het probleem van het vervoer van lege containers heeft de laatste tijd veel aandacht gekregen vanwege de aanzienlijke impact op het (weg-)transport en maakt dat er toenemende belangstelling ontstaat voor het beheer van lege containers in een transportketen. Het probleem van de toewijzing van lege containers doet zich voornamelijk voor in het kader van het beheer van de hinterland distributie en transportoperaties van maritieme rederijen.

Deze eindverhandeling bestaat uit twee onderdelen, met name een literatuurstudie en een praktijkonderzoek. De literatuurstudie heeft als doel een grondig inzicht te krijgen in het logistieke probleem omtrent de herlocatie van lege containers en tracht een zo volledig en representatief mogelijk beeld te schetsen van het onderwerp. Verder zal een inzicht verschaft worden in het planningsproces en de hieraan verbonden besluitvormingsprocessen, en zal er dieper worden ingegaan op de verschillende optimalisatiemodellen voor containertransport die de aanleiding zullen vormen tot het praktijkonderzoek.

Het beheer van deze lege containers is een complex probleem in goederentransport omdat het streeft naar een gelijktijdige optimalisatie van kosten en diensten van de operatie. Een fundamenteel aspect van het probleem van het beheer van lege containers omvat:

1. De allocatie van lege containers aan afnemers en consumenten, rekening houdend met toekomstige uitgaande exportladingen;
2. De herpositionering of reallocatie van andere lege containers naar depots en magazijnen of havens die aangedaan worden om verwachte toekomstige orders voor de komende periodes te verwezenlijken.

Ook het maritieme containertransport wordt geconfronteerd met het probleem van de allocatie of toewijzing van lege containers. Containers zijn bijna de helft van het transport leeg omdat het meestal niet mogelijk is om nieuwe vrachten te laden bij de verschillende verladers en consumenten. Vanwege deze complexe organisatie van het containerbeheer wordt slechts 3% van de lege containerverplaatsingen rechtstreeks van import- naar exportbedrijven gealloceerd. Hierdoor ontstaat er een transport van lege containers naar de rederijen of exportbedrijven, wat hoge kosten met zich meebrengt. Een belangrijk beslissingsprobleem hierbij is hoe lege containers op een tijdige en efficiënte wijze kunnen gealloceerd worden met een minimum aan transportkosten. Op het gebied van gecontaineriseerde scheepvaart wordt naar het probleem van de allocatie van lege containers in een transportnetwerk verwezen als een dynamisch container allocatie probleem.

Bovenstaand kader laat ons toe om het gehele scheepvaartnetwerk probleem in het maritieme containertransport, inclusief strategische en tactische beslissingen, op te splitsen in twee deelproblemen. Het allocatieprobleem streeft naar het bepalen van wat de beste distributie is van lege containers en hoe lege containers geherpositioneerd of gerealloceerd kunnen worden om aan de toekomstige transportvraag te voldoen. Het routeringsprobleem streeft naar het minimaliseren van de totale transportkosten voor het transport van geladen en lege containers van hun oorsprong naar hun bestemming. Dit is een zeer complex probleem omdat het niet enkel de optimale reisroute bepaalt van het containertransport maar eveneens ook de verschillende routes per vervoersmodus.

Terwijl de distributieproblemen van lege en volle containers niet nieuw zijn, beschouwd de huidige literatuur de twee problemen geïsoleerd en los van elkaar. Beide problemen samen nemen brengt de problematiek van de allocatie van lege containers met zich mee waardoor het probleem veel complexer wordt. Momenteel reikt de literatuur ons geen optimale oplossing aan voor het geïntegreerde probleem van distributie en allocatie van volle en lege containers wegens de complexiteit van het geheel.

Aan de hand van mathematische allocatieprocessen, allocatiemodellen en heuristieken is het mogelijk om het aantal lege containerverplaatsingen te reduceren om zo de hoge kostencomponent van leeg transport en de daaraan gekoppelde kostencomponent van opslag en stockage van containers tot een minimum te beperken. Onderzoekers hebben reeds tal van mathematische modellen ontwikkeld om dergelijke routenetwerken op te stellen voor containerschepen die de kostencomponent van het leeg containertransport tot een minimum reduceren door middel van een herpositionering van de lege containers, om zo de stroom tussen export en import te balanceren.

Om het theoriegedeelte aan de praktijk te toetsen zal het tweede luik van deze eindverhandeling een praktijkonderzoek beslaan. Dit praktijkonderzoek berust op de theorie en optimalisatiemodellen die beschikbaar zijn rond het allocatieprobleem van lege vrachtcontainers. Meer bepaald wordt voor de praktijkstudie uitgegaan van het mathematisch routenetwerkmodel van Maraš (2008). Op basis van dit mathematisch routenetwerkmodel wordt een model geformuleerd dat het mogelijk maakt om na te gaan of in een gegeven situatie een optimale allocatie van lege containers wordt bekomen. Meer specifiek wordt dit optimalisatiemodel geformuleerd voor een lineair binnenvaartnetwerk met vijf overslagterminals. Op basis van aangepaste data van het Belgische binnenvaartnetwerk en middels de optimaliseringssoftware LINGO worden een aantal hypothetische praktijksituaties berekend.

Uit deze geteste praktijksituaties blijkt dat de opbrengsten afhankelijk zijn van het aantal volle containers die getransporteerd worden tussen de verschillende terminals en de kosten gerelateerd aan de herlocatie van lege containers indien de overige componenten van de opbrengstenfunctie invariabel blijven. De kosten gerelateerd aan de herlocatie van lege containers omvatten de kosten van opslag en het vervoer van lege containers, alsook de kosten voor containeroverslag en -behandeling van lege containers. Toch konden we tijdens het praktijkonderzoek zelf een aantal opmerkelijke vaststellingen doen

met betrekking tot het transport van lege en beladen containers. Een verklaring voor deze opmerkelijke resultaten was niet altijd meteen voorhanden. Eveneens blijkt ook uit het praktijkonderzoek dat een gereduceerde omlooptijd of verhoogde laad- en lostijden en wachttijden een nefast effect hebben op de gegenereerde winst. In dit geval kunnen er slechts een beperkter aantal volle containers getransporteerd worden en is het vaak voordeliger om lege containers te stockeren en leasen in de verschillende terminals.

Het praktijkonderzoek zelf heeft aangetoond dat een beslissingsondersteunend systeem een aanzienlijke bijdrage kan leveren in het plan- en besluitvormingsproces van rederijen en transportmaatschappijen om tot een optimale herlocatie te komen van lege en beladen containers tussen de verschillende havens en terminals die worden aangedaan.

INHOUDSOPGAVE

WOORD VOORAF	I
SAMENVATTING	II
INHOUDSOPGAVE	VI
FIGURENLIJST	XI
TABELLENLIJST	XIV
<u>1 PROBLEEMSTELLING EN ONDERZOEKSDOEL</u>	<u>1</u>
1.1 PROBLEEMSTELLING	1
1.1.1 OMSCHRIJVING EN SITUERING	1
1.1.2 PRAKTIJKPROBLEEM	2
1.2 ONDERZOEKSDOEL	5
1.2.1 OMSCHRIJVING CENTRALE ONDERZOEKSVRAAG	5
1.2.2 DEELVRAGEN EN TOPICS	7
1.2.2.1 Welke factoren zijn verantwoordelijk voor het logistieke probleem omtrent het beheer van lege containers?	7
1.2.2.2 Hoe kan het planningsproces van het beheer en de herpositionering van lege containers worden opgesteld?	7
1.2.2.3 Welke allocatiemodellen en beslissingsprocessen kunnen toegepast worden om tot een goede allocatie van lege containers in een binnenvaartnetwerk te komen?	8
1.2.2.4 Hoe kan een herlocatie/herpositionering van lege vrachtcontainers tussen de verschillende overslagterminals, binnenhavens en opslagdepots in het (Belgische) binnenvaartnetwerk georganiseerd worden?	9
<u>2 ONDERZOEKSOPZET</u>	<u>11</u>
2.1 ONDERZOEKSFASEN	11
2.1.1 LITERATUURSTUDIE	11
2.1.2 PRAKTIJKONDERZOEK	12
2.2 BEPERKINGEN	13

3 INLEIDING TOT HET LOGISTIEKE PROBLEEM OMTRENT HET BEHEER VAN LEGE CONTAINERS **14**

3.1 CONTAINERISATIE EN HANDELSONEVENWICHT **14**

3.1.1 EVOLUTIE IN CONTAINERISATIE EN HANDELSONEVENWICHT 15

3.1.2 BETROKKEN ACTOREN BIJ CONTAINERISATIE EN HET LOGISTIEKE PROBLEEM VAN HET BEHEER VAN LEGE CONTAINERS 16

3.1.2.1 Samenstelling en structuur van de containermarkt 16

3.1.2.2 Container leasing en container lease overeenkomsten 17

3.1.3 FACTOREN DIE EEN INVLOED HEBBEN OP CONTAINERISATIE EN HANDELS-ONEVENWICHTEN 18

3.1.4 TOTALE KOSTEN VAN INEFFICIËNTE CONTAINER OPERATIES EN KOSTEN VERBONDEN AAN DE ALLOCATIE VAN LEGE CONTAINERS 20

3.2 GEOGRAFISCHE NIVEAUS IN HET BEHEER EN DE HERPOSITIONERING VAN LEGE CONTAINERS **21**

3.2.1 HERPOSITIONERING VAN LEGE CONTAINERS OP MONDIAAL NIVEAU 21

3.2.2 HERPOSITIONERING VAN LEGE CONTAINERS OP INTERREGIONAAL NIVEAU 22

3.2.3 HERPOSITIONERING VAN LEGE CONTAINERS OP REGIONAAL OF LOKAAL NIVEAU 22

4 HET PLANNINGSPROCES VAN HET BEHEER VAN LEGE VRACHTCONTAINERS **23**

4.1 PLANNINGSPROCES **23**

4.1.1 PLANNINGSNIVEAUS IN HET PLANNINGSPROCES 23

4.1.1.1 Strategisch en tactisch planningsniveau 24

4.1.1.2 Operationeel planningsniveau 25

4.1.2 BESLUITVORMINGSPROCESSEN IN HET PLANNINGSPROCES VAN HET BEHEER EN DE HERPOSITIONERING VAN LEGE CONTAINERS IN FUNCTIE VAN DE VERSCHILLENDE GEOGRAFISCHE SCHAALNIVEAUS 26

4.1.2.1 Besluitvormingsprocessen op mondiaal niveau betreffende de allocatie van lege containers 26

4.1.2.2 Besluitvormingsprocessen op interregionaal niveau betreffende de allocatie van lege containers 27

4.1.2.3 Besluitvormingsprocessen op lokaal en regionaal niveau betreffende de allocatie van lege containers 28

4.2 PLANNINGSHORIZON VAN HET BEHEER EN DE HERPOSITIONERING VAN LEGE CONTAINERS **30**

4.3 OPTIMALISATIESTRATEGIEËN EN TECHNOLOGISCHE OPLOSSINGEN	31
<u>5 HET GEBRUIK VAN OPTIMALISATIEMODELLEN IN CONTAINERTRANSPORT</u>	<u>34</u>
5.1 CONTAINER ALLOCATIE MODELLEN	34
5.1.1 DETERMINISTISCHE OPTIMALISATIEMODELLEN	36
5.1.2 STOCHASTISCHE OPTIMALISATIEMODELLEN	37
5.2 VOERTUIG ROUTERINGSMODELLEN	38
<u>6 HET BEPALEN VAN DE OPTIMALE TRANSPORTROUTES VOOR CONTAINER-TRANSPORT IN DE BINNENVAART</u>	<u>39</u>
6.1 ALGEMENE FORMULERING VAN HET MODEL VAN MARAŠ (2008)	39
6.1.1 FORMULERING VAN DE DOELFUNCTIE	40
6.1.2 FORMULERING VAN DE HERPOSITIONERINGSKOSTEN VAN LEGE CONTAINERS	43
6.1.3 FORMULERING VAN DE BEPERKINGEN	45
6.1.3.1 Vertrek van een schip vanuit elke haven op het routenetwerk	46
6.1.3.2 Aankomst van een schip vanuit elke haven op het routenetwerk	47
6.1.3.3 Capaciteitsbeperkingen van een schip op elke link van het routenetwerk	48
6.1.4 VERONDERSTELLINGEN MODEL MARAŠ	53
6.2 UITWERKING OPTIMALISATIEMODEL MARAŠ MET BEHULP VAN LINGO	54
<u>7 PRAKTIJKONDERZOEK</u>	<u>55</u>
7.1 AFBAKENING VAN HET ONDERZOEK	55
7.2 DATA	57
7.3 RESULTATEN PRAKTIJKONDERZOEK	59
7.4 SCENARIO 1 – PROCENTUELE DALING VAN HET VERWACHT AANTAL BELADEN CONTAINERS VERTREKKENDE VANUIT EEN WELBEPAALENDE TERMINAL	61
7.4.1 WERKWIJZE SCENARIO 1	61
7.4.2 BESPREKING RESULTATEN SCENARIO 1 – PROCENTUELE DALING VAN HET VERWACHT AANTAL BELADEN CONTAINERSVERTREKKENDE VANUIT EEN WELBEPAALENDE TERMINAL	62
7.4.2.1 Doelfunctie	62
7.4.2.2 Containertransport	64
7.4.2.2.1 Lege containers	64

7.4.2.2.2 Beladen containers	66
7.4.2.3 Omlooptijd	68
7.4.2.4 Stockage en leasing	69
7.4.2.5 Routing	69
7.5 SCENARIO 2 – PROCENTUELE DALING VAN HET VERWACHT AANTAL BELADEN CONTAINERS VERTREKKENDE VANUIT EN TOEKOMEND IN EEN WELBEPAALE TERMINAL	70
7.5.1 WERKWIJZE SCENARIO 2	70
7.5.2 BESPREKING RESULTATEN SCENARIO 2	71
7.5.2.1 Doelfunctie	71
7.5.2.2 Containertransport	72
7.5.2.2.1 Lege containers	73
7.5.2.2.1 Beladen containers	74
7.5.2.3 Omlooptijd	77
7.5.2.4 Stockage en leasing	77
7.5.2.5 Routing	77
7.6 SCENARIO 3 – PROCENTUELE DALING VAN HET VERWACHT AANTAL BELADEN CONTAINERS VERTREKKENDE VANUIT EEN WELBEPAALE TERMINAL MET GEREDUCEERDE OMLOOPTIJD	78
7.6.1 WERKWIJZE SCENARIO 3	78
7.6.2 BESPREKING RESULTATEN SCENARIO 3	78
7.6.2.1 Doelfunctie	79
7.6.2.2 Containertransport	80
7.6.2.2.1 Lege containers	80
7.6.2.2.2 Beladen containers	80
7.6.2.3 Omlooptijd	81
7.6.2.4 Stockage en leasing	82
7.6.2.5 Routing	83
7.7 SCENARIO 4 – TOENAME VAN DE HAVENGELDEN EN WACHTTIJD VOOR HET BINNENKOMEN VAN EEN TERMINAL OF HAVEN	84
7.7.1 WERKWIJZE SCENARIO 4	84
7.7.2 BESPREKING RESULTATEN SCENARIO 4	84
7.7.2.1 Doelfunctie	84
7.7.2.2 Containertransport	85
7.7.2.2.1 Lege containers	86
7.7.2.2.2 Beladen containers	86
7.7.2.3 Omlooptijd	88

7.7.2.4 Stockage en leasing	88
7.7.2.5 Routing	88
7.8 SCENARIO 5 – TOENAME VAN DE HAVENGELDEN EN WACHTTIJD VOOR HET BINNENKOMEN VAN EEN TERMINAL OF HAVEN BIJ EEN GEREDUCEERDE OMLOOPTIJD	89
7.8.1 WERKWIJZE SCENARIO 5	89
7.8.2 BESPREKING RESULTATEN SCENARIO 5	89
7.8.2.1 Doelfunctie	89
7.8.2.2 Containertransport	91
7.8.2.2.1 Lege containers	91
7.8.2.2.2 Beladen containers	91
7.8.2.3 Omlooptijd	92
7.8.2.4 Stockage en leasing	93
7.8.2.5 Routing	93
8 ALGEMEEN CONCLUSIE EN AANBEVELINGEN	95
8.1 ALGEMENE CONCLUSIES	95
8.1.1 ALGEMENE CONCLUSIE LITERAATUURSTUDIE	95
8.1.2 ALGEMENE CONCLUSIE PRAKTIJKONDERZOEK	97
8.2 AANBEVELINGEN VOOR VERDER ONDERZOEK	98
8.2.1 AANBEVELINGEN LITERAATUURSTUDIE	98
8.2.2 AANBEVELINGEN PRAKTIJKONDERZOEK	100
LIJST VAN DE GERAADPLEEGDE WERKEN	102
APPENDIX	110
APPENDIX 1	111
APPENDIX 2	117
APPENDIX 3	119
APPENDIX 4	121
APPENDIX 5	123
APPENDIX 6	125
APPENDIX 7	127
APPENDIX 8	129
APPENDIX 9	131

FIGURENLIJST

Figuur 1-1. Mogelijke vaarbewegingen van twee containerschepen in een binnenvaartnetwerk bestaande uit vijf havens of terminals/overlaadpunten (di francesco et al., 2009).	3
Figuur 3-1. Handelsoevenwichten tussen belangrijke internationale vaargebieden (Theofanis en Boile, 2008; Boile et al., 2006).	19
Figuur 3-2. Geografische niveaus voor de herpositionering van lege vrachtcontainers in een maritiem netwerk (Boile et al., 2008).	21
Figuur 4-1. Globale benadering van het logistiek probleem rond de herlocatie van lege containers met inbegrip van de verschillende planningniveaus (Crainic, Gendreau et al., 1993).	24
Figuur 4-2. Besluitvormingsprocessen op globaal niveau in het beheer en de herpositionering van lege containers (Boile et al., 2006).	27
Figuur 4-3. De stroom van lege containers op lokaal en regionaal niveau (boile et al., 2006).	29
Figuur 4-4. Optimalisatiestrategieën en technologische oplossingen die genomen kunnen worden op het strategische (s), tactische (t) en operationele (o) planningsniveau (Theofanis en Boile, 2008).	32
Figuur 5-1. Classificatie van container allocatie modellen (Lam et al., 2007).	35
Figuur 7-1. locatie van de multimodale terminals op de as antwerpen-luik van het albertkanaal (mira op basis van gegevens van vub - data van trw, ifb, promotie binnenvaart vlaanderen en individuele terminals, 2007).	56
Figuur 7-2. Grafische voorstelling van het terminalnetwerk op de as Antwerpen-Luik van het Albertkanaal met bijhorende vaaartijd ten opzichte van terminal 1.	57
Figuur 7-3. Doelfunctie weergegeven voor het basisscenario en de verschillende subscenario's (45% en 90% reductie).	63
Figuur 7-4. Totaal aantal getransporteerde lege containers weergegeven voor het basisscenario en de verschillende subscenario's (45% en 90% reductie).	64
Figuur 7-5. Totaal aantal getransporteerde lege containers weergegeven voor het basisscenario en de verschillende subscenario's (45% en 90% reductie).	65
Figuur 7-6. Totaal aantal getransporteerde beladen containers weergegeven voor het basisscenario en de verschillende subscenario's (45% en 90% reductie).	66

Figuur 7-7. Totaal aantal getransporteerde beladen containers weergegeven voor het basisscenario en de verschillende subscenario's (45% en 90% reductie).	67
Figuur 7-8. Totale omlooptijd weergegeven voor het basisscenario de verschillende subscenario's (45% en 90% reductie).	68
Figuur 7-9. Doelfunctie weergegeven voor het basisscenario en de verschillende subscenario's (45% en 90% reductie).	72
Figuur 7-10. Totaal aantal getransporteerde lege containers weergegeven voor het basisscenario en de verschillende subscenario's (45% en 90% reductie).	73
Figuur 7-11. Totaal aantal getransporteerde lege containers weergegeven voor het basisscenario en de verschillende subscenario's (45% en 90% reductie).	74
Figuur 7-12. Totaal aantal getransporteerde beladen containers weergegeven voor het basisscenario en de verschillende subscenario's (45% en 90% reductie).	75
Figuur 7-13. Totaal aantal getransporteerde beladen containers weergegeven voor het basisscenario en de verschillende subscenario's (45% en 90% reductie).	76
Figuur 7-14. Totale omlooptijd weergegeven voor het basisscenario de verschillende subscenario's (45% en 90% reductie).	77
Figuur 7-15. Doelfunctie weergegeven voor het basisscenario en de verschillende subscenario's (45% en 90% reductie).	79
Figuur 7-16. Totaal aantal getransporteerde beladen containers weergegeven voor het basisscenario en de verschillende subscenario's (45% en 90% reductie).	81
Figuur 7-17. Totale omlooptijd weergegeven voor het basisscenario de verschillende subscenario's (45% en 90% reductie).	82
Figuur 7-18. Totaal aantal geleasde en gestockeerde containers weergegeven voor het basisscenario de verschillende subscenario's (45% en 90% reductie).	83
Figuur 7-19. Doelfunctie weergegeven voor het basisscenario en de verschillende subscenario's (standby time 30min en standby time 60min).	85
Figuur 7-20. Totaal aantal getransporteerde lege containers weergegeven voor het basisscenario en de verschillende subscenario's (standby time 30min en standby time 60min).	86
Figuur 7-21. Totaal aantal getransporteerde beladen containers weergegeven voor het basisscenario en de verschillende subscenario's (standby time 30min en standby time 60min).	87
Figuur 7-22. Totale omlooptijd weergegeven voor het basisscenario de verschillende subscenario's (standby time 30min en standby time 60min).	88

Figuur 7-23. Doelfunctie weergegeven voor het basisscenario en de verschillende subscenario's (standby time 30min en standby time 60min).	90
Figuur 7-24. Totaal aantal getransporteerde beladen containers weergegeven voor het basisscenario en de verschillende subscenario's (standby time 30min en standby time 60min).	92
Figuur 7-25. Totale omlooptijd weergegeven voor het basisscenario de verschillende subscenario's (standby time 30min en standby time 60min).	93

TABELLENLIJST

Tabel 3-1. Container lease overeenkomsten (Theofanis en Boile, 2008). _____	18
Tabel 7-1. Het verwacht aantal beladen (pk_{ij}), en lege containers (prk_{ij}), beschikbaar voor transport tussen de verschillende terminals. _____	58
Tabel 7-2. De goederentransportkosten per container komende van terminal i naar terminal j (€/TEU)_____	59
Tabel 7-3. Parameters en karakteristieken van binnenvaartschepen en duwkonvoeien met betrekking tot het praktijkonderzoek. _____	59
Tabel 7-4. Werkwijze procentuele reductie (45% en 90%) van het verwacht aantal beladen containers vertrekkend (per terminal afzonderlijk). _____	61
Tabel 7-5. Werkwijze procentuele reductie (45% en 90%) van het verwacht aantal beladen containers vetrekkend en toekomend (per terminal afzonderlijk). _____	70
Tabel 7-6. Routing over het routenetwerk weergegeven voor het basisscenario de verschillende subscenario's (45% en 90% reductie)._____	83
Tabel 7-7. Routing over het routenetwerk weergegeven voor het basisscenario de verschillende subscenario's (standby time 30min en standby time 60min). _____	94

1 Probleemstelling en onderzoeksdoel

In dit hoofdstuk zal het kernprobleem inzake de herpositionering van lege containers in een goed werkend transportsysteem worden aangegeven en zal een centrale onderzoeksvraag, aangevuld met enkele deelvragen, geformuleerd worden. Deze centrale onderzoeksvraag zal in grote mate de basis vormen voor de verdere uitwerking van deze eindverhandeling.

1.1 Probleemstelling

1.1.1 Omschrijving en situering

Het management van de intermodale (lege) containertrafiek is wereldwijd één van de meest complexe problemen in de logistieke sector, waardoor het beheer en het allocatieprobleem van lege containers de laatste decennia een topprioriteit is geworden voor de containerscheepvaart (Theofanis en Boile, 2008).

Reeds sinds de beginperiode bleek containerisatie transportgericht tal van voordelen met zich mee te brengen zoals een reductie van de transportkosten en afhandelingskosten in havens en andere overlaadpunten, efficiënt en sneller transport en een verbeterde afstemming op intermodaal¹ transport (Bandeire et al., 2009; Theofanis en Boile, 2008; Shintani et al., 2007; Dejax en Crainic, 1987). Ondanks alle voordelen die containerisatie met zich meebracht, bleek het intermodaal containertransport al snel te lijden onder een handelstonevenwicht. Dit onevenwicht is in hoofdzaak te wijten aan het feit dat bepaalde gebieden voornamelijk exportgebieden zijn, waar andere vooral importgericht zijn. Sommige havens kunnen meer containers nodig hebben dan momenteel beschikbaar zijn voor hen, terwijl andere havens overtollige lege containers dienen op te slaan in magazijnen en depots (Li et al., 2004). Het probleem van het handelstonevenwicht en de

¹ Intermodaal of multimodaal transport is transport waarbij het grootste gedeelte van het goederentransport, het hoofdtransport, per spoor, zee-, of binnenvaart wordt vervoerd omdat de transportkosten voor deze transportmodi over langere afstanden lager liggen dan het goederenvervoer over de weg. Het voor- en natransport gebeurt echter nog via het gebruikelijke wegverkeer. (Vannieuwenhuyse et al., 2006)

noodzaak voor de herpositionering van lege containers is – en zal ook in de toekomst – een gecompliceerd logistiek transportprobleem blijven (Jula et al., 2006).

Bij volle containertransporten kan het logistiek probleem dat hieraan verbonden is, gesimplificeerd worden tot een overslag- en verschepingsmodel dat wordt toegepast op de havens of overslagpunten van herkomst en bestemming (Bandeira et al., 2009). Het overslag- en verschepingsmodel heeft als doel de meest geschikte route (diegene met de laagste transportkosten of de korte transporttijd) te vinden tussen deze twee gedefinieerde herkomst- en bestemmingspunten. Het probleem van lege containerbewegingen is echter veel complexer daar het gaat om, naast de transportbeweging zelf, de dynamische toewijzing van lege containers om zo aan de toekomstige transportvraag te voldoen (Shintani et al., 2007; Crainic et al., 1993).

Vermits beide zeer sterk gerelateerd zijn aan elkaar, bestaat de uitdaging erin om een distributieplanning te creëren die rekening houdt met de stroom van lege en volle containers (Bandeira et al., 2009).

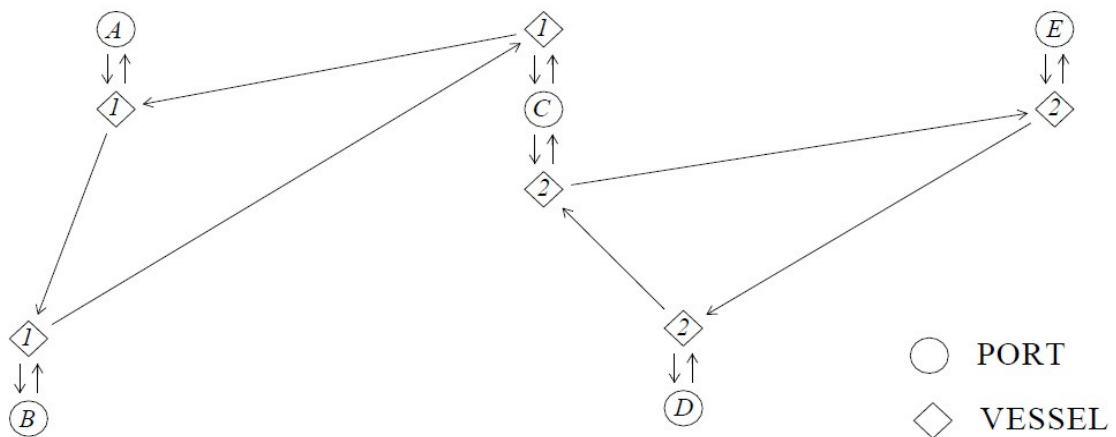
1.1.2 Praktijkprobleem

Veronderstel een binnenvaartnetwerk dat bestaat uit een vloot van schepen, een vloot te vervoeren containers en een aantal havens of overlaadpunten om te voldoen aan de externe vraag van de afnemers, die geladen containers willen verschepen vanuit de haven van herkomst naar een zekere bestemming (Dong en Song, 2009).

Voor verdere duiding is er een illustratief netwerk weergegeven in figuur 1-1. Dit routenetwerk stelt twee containerschepen voor, aangeduid met respectievelijk de nummers 1 en 2, die zich navigeren tussen vijf vooropgestelde havens of terminals die aangeduid worden met de letters A tot en met E. Deze containerschepen zijn geladen met goederen bestemd voor import alsook lege containers komende van voorgaande exportladingen. Een link tussen de haven of terminal en het schip geeft de mogelijkheid om containers te laden, daar waar een link in de tegenovergestelde richting de mogelijkheid geeft voor het schip om containers te lossen. Volle containers dienen dan nog verder getransporteerd te worden naar een in het hinterland gelegen eindbestemming via trein- of wegtransport. Lege containers daarentegen worden ofwel

opgeslagen in terminals of depots of worden onmiddellijk geherpositioneerd om zo de verwachte toekomstige orders voor de komende periodes te verwezenlijken (Crainic et al., 1993).

In onderstaand illustratief netwerk vaart containerschip 1 via een vaste route vanuit A naar B, en dan verder vanuit B naar C waar het weer terugkeert naar A. Vanuit deze haven of terminal wordt het reisrouteschema terug hervat. Vermits beide schepen haven C als gemeenschappelijk punt hebben op hun reisroute kunnen containers, die verscheept worden vanuit eender welke haven of terminal, elk andere haven of terminal op beide reisroutes bereiken (Di Francesco et al., 2009).



FIGUUR 1-1. MOGELIJKE VAARBEWEGINGEN VAN TWEE CONTAINERSCHEPEN IN EEN BINNENVAARTNETWERK BESTAANDE UIT VIJF HAVENS OF TERMINALS/OVERLAADPUNTEN (DI FRANCESCO ET AL., 2009).

Enmaal de containers gelost zijn bij de consument of verlader dienen deze terug te worden getransporteerd naar de rederijen in de haven waarvan de containers eigendom zijn of worden ze geëxpédieerd naar een opslagplaats of landinwaarts gelegen overslagterminal (Crainic et al., 1993). Vermits er in havens en terminals echter beperkingen zijn wat betreft de opslag van lege containers en de kosten voor opslagruimte vaak enorm hoog zijn, dienen rederijen vaak op zoek te gaan naar goedkope, landinwaarts gelegen opslagdepots. De vraag naar lege containers moet worden voldaan met behulp van het beschikbare aanbod, wat wil zeggen dat het noodzakelijk is voor rederijen om hun lege containers te herpositioneren tussen de

verschillende havens en overslagterminals (Di Francesco et al., 2009; Cheung en Chen, 1998; Dejans en Crainic, 1987; Crainic et al., 1993).

Deze herpositioneringsactiviteit wordt uitgevoerd door containerschepen die, op regelmatige basis en via vaste routenetwerken en dienstregelingen, havens en terminals in het maritieme netwerk bedienen. Deze containerschepen, die via een vaste dienstregeling en routenetwerk varen, verschepen zowel geladen als lege containers. Aangezien volle containers een hogere prioriteit hebben dan lege containers, omdat deze winst genereren voor scheepvaartbedrijven en rederijen, dienen deze scheepvaartbedrijven en rederijen via beslissingsregels te bepalen hoeveel containers verscheept kunnen worden, rekening houdend met de beschikbare capaciteit (Di Francesco et al., 2009; Cheung en Chen, 1998).

Beslissingen omtrent het herpositioneren van lege containers worden in praktijk vaak niet uitgevoerd zoals gepland. Doorgaans worden lege containerladingen niet verscheept zoals voorzien om de ontstane vertraging in de haven of terminal te verminderen en te voorkomen dat men in tijdnood komt wat betreft de vaste dienstregelingen (Dong en Song, 2009; Di Francesco et al., 2009). Zulke logistieke praktijken resulteren vaak in het risico op het niet verstrekken van lege containers daar waar deze gevraagd worden en het genereren van vermijdbare opslagkosten (Choong et al., 2002).

Één van de grootste moeilijkheden bij het herpositioneren van lege containers is de onzekerheid die bestaat over bepaalde parameters in het beslissingsproces. Onzekerheid omtrent de vraag naar lege containers volgt immers uit de onverwachte transportmogelijkheden die zich voordoen in het hinterland. Ook het aantal lege containers die beschikbaar zijn in de havens of terminals is onzeker vermits de retourtransfer van lege containers vaak niet onmiddellijk gebeurt na het lossen bij de consument of verlader. Rederijen weten dikwijls niet wanneer lege containers terug zullen keren naar de haven of terminal en hoeveel tijd hiervoor nodig is (Di Francesco et al., 2009). Omdat beladen containers een grotere prioriteit hebben dan lege containers en er zich onverwachte transportmogelijkheden kunnen voordoen, is de voorziene transportcapaciteit bij containerschepen vaak onzeker (Cheung en Chen, 1998). De beslissingen omtrent extra transportmogelijkheden hangen voornamelijk af van de winstgevendheid van het transportproces. Terwijl een gedeelte van deze parameters gekend is, bieden andere geen precieze informatie. Dit is hoofdzakelijk het geval als ze

worden geassocieerd met toekomstige perioden van de planningshorizon. Enkel informatie uit historische gegevens kan gebruikt worden om deze onzekere parameters te schatten (Di Francesco et al., 2009).

Op dit moment is het niet mogelijk om op basis van historische data, zoals eerder aangehaald, goede voorspellingen te doen omtrent vraag en aanbod van lege containers. Dit resulteert in een overschatting van de laad- en loscapaciteit, de voorziene transportcapaciteit en de vraag naar lege containers in havens en terminals. (Di Francesco et al., 2009)

1.2 Onderzoeksdoel

1.2.1 Omschrijving centrale onderzoeksvraag

Vooraleer we tot een onderzoeksvraag kunnen komen is het noodzakelijk af te bakenen welke informatie en gegevens nodig zijn om een duidelijk beeld te schetsen van het allocatieprobleem van lege containers.

Als we focussen op het eigenlijke probleem kunnen we stellen dat containers, zoals eerder gezegd, bijna de helft van hun transport leeg zijn omdat het vaak onmogelijk of irrelevant is om nieuwe vrachten te laden bij de verschillende verladers en consumenten of omdat er tijdelijk geen vraag is naar lege containers op een specifieke locatie of exportgebied. Er dient dus gezocht te worden naar een optimalisatie van de herpositionering van lege containers omdat het transport en de stockage hiervan enkel maar hoge kosten met zich meebrengt zonder dat er een "bijkomende" of "toegevoegde" waarde wordt gecreëerd.

Reeds eind jaren '80 is men zich bewust geworden van het feit dat de hoge kosten van het transport voornamelijk zwaar doorwegen bij de niet-rendabele retourtransfer van lege containers naar de verschillende grote containerrederijen (China Shippig, Evergreen, CMA-CGM, Mediterranean Shipping Co, Maersk Line, etc.). Dejax en Crainic (1987) hebben in functie van dit allocatieprobleem van lege containers een model en beslissingsproces ontwikkeld dat zich specifiek richt op de maritieme aspecten van het containertransport. Dergelijk mathematisch model minimaliseert de totale kosten van het

beheer van lege containers terwijl tegemoet gekomen wordt aan de vraag van de consument voor de tijdige beschikbaarheid van lege containers (Choong et al., 2002). Op basis van het model en beslissingsprobleem van Dejax en Crainic (1987) stelde Crainic et al. (1993) een deterministisch single commodity model op dat in tegenstelling tot het eerste model meerdere vervoerswijze, de capaciteit van de opslag en de capaciteit van de vervoersmodi in rekening kon nemen (Choong et al., 2002). In de daaropvolgende jaren zijn er nog een aantal andere modellen en beslissingsprocessen opgesteld in het onderzoek naar het beheer van lege containers, die zich meer toespitsen op elke vervoersmodus afzonderlijk en die allen hun voor- en nadelen hebben.

Rekening houdend met het voorgaande kunnen we de onderzoeksvraag dan ook als volgt formuleren:

"Hoe kan de hoge kostencomponent die ontstaat bij het niet-rendabele transport en de langdurige stockage van lege vrachtcontainers in de binnenvaart gereduceerd/geminimaliseerd worden?"

Deze centrale onderzoeksvraag is echter slechts een indicatie voor wat we willen onderzoeken en kan naarmate het onderzoek vordert nog veranderen als blijkt dat dit niet de correcte vraagstelling is.

1.2.2 Deelvragen en topics

Om tot het onderzoeksdoel en opzet te komen, is het nuttig dat de centrale onderzoeksvraag wordt opgedeeld in een aantal deelvragen. Deze zijn enerzijds informatief en kunnen extra informatie verschaffen, anderzijds kunnen ze een duidelijker beeld vormen van of antwoord geven met betrekking tot de centrale onderzoeksvraag.

1.2.2.1 Welke factoren zijn verantwoordelijk voor het logistieke probleem omtrent het beheer van lege containers?

Structurele veranderingen in de globale productienetwerken (GNP) en de economische groei van Aziatische grootmachten als China en Indië hebben de laatste decennia geleid tot een aanzienlijke toename van het maritiem containertransport en de globale handelsonevenwichten (Notteboom en Merckx, 2006; Bandeira et al., 2009). Als gevolg van deze enorme toename in het maritieme containertransport is het volume lege containers dat verplaatst dient te worden van gebieden met een overschot naar gebieden met een deficit aan lege containers aanzienlijk toegenomen (Shintani et al., 2009).

Voornamelijk deze grootschalige overzeese container allocaties van consumptie naar productie regio's hebben de toename in handelsonevenwichten danig in de hand gewerkt (Notteboom en Merckx, 2006).

1.2.2.2 Hoe kan het planningsproces van het beheer en de herpositionering van lege containers worden opgesteld?

Bij het planningsproces van het beheer van lege containers kunnen beslissingen genomen worden op verschillende managementniveaus, zijnde het strategische niveau en het tactische niveau.

Beslissingen die op het strategische niveau worden genomen, hebben betrekking op lange termijn planning zoals het kiezen welke landinwaarts gelegen containerterminals worden aangedaan en het bepalen van de logistieke zones. Strategische keuzes kunnen

echter beïnvloed worden door de keuze van opslag- en overslagterminals omdat deze niet beheerd worden door de rederijen. (Nilsson, 2002)

Tactische evaluaties hebben betrekking op de operationele aspecten van de allocatie en herpositionering van containers (Nilsson, 2002). Het operationele niveau moet ervoor zorgen dat aan de vraag van consumenten en afnemers wordt voldaan en dat de meest efficiënte routes en de economisch voordeligste transportmodi geselecteerd worden. Allocatiemodellen en routeringsmodellen stemmen overeen met het operationeel planningsniveau (Nilsson, 2002; Crainic et al.; 1992).

1.2.2.3 Welke allocatiemodellen en beslissingsprocessen kunnen toegepast worden om tot een goede allocatie van lege containers in een binnenvaartnetwerk te komen?

Zoals eerder aangehaald ligt de focus van deze verhandeling op het minimaliseren van de transportkost van lege containers van import naar exportbedrijven en het beperken van stockagekosten, toegepast op het binnenvaartnetwerk. Vermits in de meeste gevallen het containertransport per binnenschip niet finaal is, dienen we bij het opstellen van allocatieprocessen en modellen eveneens rekening te houden met de routenetwerken van de overige transportsystemen. Rekening houdend met de complexiteit van dit allocatieprobleem is het aangewezen gebruik te maken van twee verschillende optimalisatiemodellen.

Een allocatiemodel dat streeft naar het bepalen van wat de beste distributie is van lege containers en die voldoet aan de vraag en eisen van zowel huidige als toekomstige verladers en consumenten. Dit allocatiemodel zou een stochastisch, dynamisch model moeten zijn met een planningshorizon van één of twee weken om te voldoen aan de hoge graad van onzekerheid in realtime operaties van een transportsysteem en voor de impact van huidige beslissingen in de toekomst. (Crainic et al., 1993)

Een routeringsmodel dat streeft naar het minimaliseren van de totale transportkosten voor het transport van geladen en lege containers van hun oorsprong naar hun bestemming. Dit is een zeer complex probleem omdat het niet enkel de optimale (multimodale) reisroute bepaald van het containertransport maar eveneens ook de verschillende routes per vervoersmodus (Crainic et al., 1993). De output van dergelijk routeringsmodel is een lijst van verplaatsingen die beschrijven welke volle en lege

verplaatsingen moeten uitgevoerd worden gedurende de volgende periode (Dejax et al., 1992).

Vaak kunnen er modelleringsproblemen optreden omdat het zeer gecompliceerd en moeilijk is om verplaatsingen van lege en volle containers in hetzelfde model te beschrijven, hoewel ze toch sterk met elkaar verbonden zijn (Crainic et al., 1993; Choong et al., 2002).

1.2.2.4 Hoe kan een herlocatie/herpositionering van lege vrachtcontainers tussen de verschillende overslagterminals, binnenhavens en opslagdepots in het (Belgische) binnenvaartnetwerk georganiseerd worden?

In tegenstelling tot transport via weg en het spoor, hebben de Belgische binnenwateren nog een aanzienlijke reservecapaciteit. Het Belgische binnenvaartnetwerk, dat in rechtstreekse verbinding staat met het Pan-Europese binnenvaartnetwerk en het Trans-Europese Netwerk (TEN) van binnenwateren, biedt zo de mogelijkheid om via binnenvaart een groot gedeelte van Europa te bereiken en te bevoorraden. Het aandeel van de binnenvaart in het goederenvolume van de Antwerpse haven groeit in sneltempo waarbij de containertrafiek het voortouw neemt. Ongeveer één derde van het Antwerpse containervolume wordt nu al per binnenschip vervoerd (Haven van Antwerpen, 2008).

Een andere belangrijke groeimotor is het uitdijende netwerk van binnenlandse container- en overslagterminals, zowel in België als in de buurlanden. Aanvankelijk werd ervan uitgegaan dat de minimale afstand tussen de haven en een containerterminal 350 tot 400 kilometer moest bedragen alvorens de binnenvaart kon concurreren met het wegtransport. Hier en daar werd die afstand ondertussen teruggebracht tot 60 kilometer, of -in uitzonderlijke gevallen- tot 15 kilometer (Haven van Antwerpen, 2008). In de meeste gevallen is het containertransport per binnenschip niet finaal. Hierdoor maakt het binnenvaarttransport onlosmakelijk deel uit van de intermodale transportketen waarbij voor- en natransport echter nog via het gebruikelijke wegverkeer geschieden.

Het optimalisatiemodel van Maraš (2008) leent zich uitstekend voor toepassing in een Belgische binnenvaartnetwerk. Het model bevat een ontwerpmethodologie voor een optimaal lineair routenetwerk voor containertransport via binnenvaart dat een herlocatie van lege containers, tussen de verschillende havens of terminals die worden aangedaan, mee in

rekening brengt. Op basis van informatie omtrent de terminals die worden aangedaan en het aantal volle en lege containers die getransporteerd worden, berekent het model de opbrengsten, de optimale vaarroute en de optimale herpositionering van lege en beladen containers.

2 Onderzoeksopzet

In onderstaande paragraaf zullen de verschillende fasen van het onderzoek worden besproken. Deze verschillende onderzoeksfasen hebben als doel om een zo duidelijk en gedetailleerd mogelijk beeld te vormen van het kernprobleem in al zijn facetten, de oorzaken en aanleidingen van dit kernprobleem en welke de mogelijke oplossingen hierbij zijn.

2.1 Onderzoeksfasen

Deze eindverhandeling is opgebouwd uit twee belangrijke onderdelen, enerzijds een literatuurstudie en anderzijds een praktijkstudie. Beide onderzoeksfasen worden in onderstaande paragrafen verder toegelicht.

2.1.1 Literatuurstudie

De literatuurstudie heeft als doel een grondig inzicht te krijgen in het logistieke probleem omtrent de herlocatie van lege containers. Dit probleem heeft de laatste tijd veel aandacht gekregen vanwege de aanzienlijke impact op het (weg-)transport en maakt dat er een toenemende belangstelling ontstaat voor het beheer van lege containers in een transportketen. Bijgevolg wordt er in de literatuurstudie getracht de meest relevante literatuur aan te wenden. Tevens wordt vooral gebruik gemaakt van wetenschappelijke artikels en informatieve referaten. Op deze manier wordt getracht een zo volledig en representatief mogelijk beeld te schetsen van het onderwerp.

In de literatuurstudie wordt in eerste instantie het kernprobleem verduidelijkt en verder verdiept en wordt nagegaan wat de achterliggende aspecten zijn bij dit logistieke allocatieprobleem. In tweede instantie zal een inzicht verschaft worden in het planningsproces en de hieraan verbonden besluitvormingsprocessen. Tot slot wordt er dieper ingegaan op de verschillende optimalisatiemodellen voor containertransport die de aanleiding zullen vormen tot het praktijkonderzoek.

2.1.2 Praktijkonderzoek

Om het theoriegedeelte aan de praktijk te toetsen zal het tweede luik van deze eindverhandeling een praktijkonderzoek beslaan. Dit praktijkonderzoek berust op de theorie en optimalisatiemodellen die beschikbaar zijn rond het allocatieprobleem van lege vrachtcontainers. Meer bepaald wordt voor de praktijkstudie uitgegaan van het mathematisch routenetwerkmodel van Maraš (2008).

Het weergegeven model bevat een ontwerpmethode voor een optimaal routenetwerk voor containertransport via binnenvaart dat een herlocatie van lege containers, tussen de verschillende havens of terminals die worden aangedaan, mee in rekening brengt en bepaalt welke havens en terminals al dan niet worden aangedaan. Verder gaat het model na of een containerschip al dan niet gecharterd dient te worden (Maraš, 2008). Indien een rederij de mogelijkheid heeft om meer dan één schip te charteren, dan kan elk schip afzonderlijk worden beoordeeld met behulp van dit model. Op basis van dit mathematisch routenetwerkmodel wordt een model opgesteld dat het mogelijk maakt om na te gaan of in een gegeven situatie een optimale allocatie van lege containers wordt bekomen. Het is echter belangrijk dat er een duidelijk kostenmodel wordt weergegeven. Om de correctheid van het kostenmodel te verifiëren, zal dit toegepast worden op een hypothetische situatie. Eveneens zullen de optimale waarden van onzekere parameters, die invloed hebben op het efficiënt gebruik van containerschepen of de winstgevendheid van een rederij met een beschikbare vloot aan containerschepen, mede worden bepaald. Deze parameters omvatten de capaciteit van een container-/binnenvaartschip, het aantal containers dat geladen of gelost kan worden bij elke haven of terminal die op de scheepsroute gelegen is, de gerealiseerde inkomsten, etc.

De optimale waarden van de onzekere parameters, gebaseerd op een gemengd gehele getallen programmeringsprobleem (mixed-integer programming model), worden bepaald met behulp van het softwareprogramma LINGO voor wiskundige programmering.

2.2 Beperkingen

Tevens dienen een aantal beperkingen te worden geformuleerd die belangrijk zijn voor een goed begrip van het uitgevoerde onderzoek. Een eerste beperking die in deze eindverhandeling is opgenomen, is het feit dat het onderzoek zich voornamelijk toespitst op het allocatieprobleem van lege containers in de binnenscheepvaart, dus op het laagste geografische niveau. Een tweede beperking is de relatie met het voor- en natransport van lege containers via weg- of spoorvervoer. Vermits deze component zeer complex te modelleren is, behoort het niet tot de essentie van deze verhandeling. Tot slot dient er opgemerkt te worden dat het niet de intentie is om in de aangereikte literatuurstudie een uitvoerige beschrijving te verschaffen van het complexe probleem van de herlocatie van lege vrachtcontainers. Het accent wordt voornamelijk gelegd op de kernfacetten van dit allocatieprobleem, die in de literatuur naar voren komen als zijnde belangrijk voor de optimalisatie hiervan.

3 Inleiding tot het logistieke probleem omtrent het beheer van lege containers

Disproporties in de vraag en het aanbod van lege vrachtcontainers zijn een gevolg van de handelsonevenwichten langs de belangrijke overzeese handelscorridors, een structureel en endemisch probleem van de globale wereldhandel (Notteboom en Rodrigue, 2008). Het herpositioneren van lege containers is echter een integraal onderdeel geworden van een globaal transport netwerk. Hoewel deze herpositionering een kapitaalsintensieve aangelegenheid is waarbij geen inkomsten worden gegenereerd, blijkt deze hoogst nodig te zijn om de vraag en het aanbod van containers tussen exporterende en importerende regio's in evenwicht te houden (Theofanis en Boile, 2008).

Onderstaand inleidend hoofdstuk verschaft inzicht in het beheer van lege containers, alsmede de belangrijke grote spelers in het containertransport, het geografische niveau waarop de herpositionering van lege containers kan plaatsvinden en de samenstelling en structuur van de containermarkt.

3.1 Containerisatie en handelsonevenwicht

Met een totaal van vijftientig miljoen TEU² (Twenty-feet Equivalent Unit) containers wereldwijd en een jaarlijkse productie van ongeveer drie miljoen TEU containers wordt geschat dat ongeveer anderhalf miljoen lege containers opgeslagen liggen in depots, havens en containerterminals over de hele wereld, klaar voor gebruik (Theofanis en Boile, 2008).

² "Twenty Foot Equivalent Unit. TEU is de eenheid van de capaciteit van een containerschip, van een containerterminal en van de statistieken van de containeroverslag in een haven. De twee meest voorkomende internationale gestandaardiseerde containermaten zijn deze van twintig en van veertig voet lang. Al naargelang het schip twintig of veertig voet containers, of een combinatie van beide, laadt, zal het aantal containers dat het schip aan boord heeft verschillen. Om de capaciteit van een containerschip op een uniforme manier uit te drukken wordt het aantal containers dat het schip kan laden omgezet in een aantal containers van de kleinste maat, namelijk die van twintig voet lang. Een container van veertig voet wordt beschouwd als twee containers van twintig voet of 2 TEU." (SERV, 2003). "Een TEU is 20 voet lang x 8 voet breed x 8 voet hoog (1 voet = 30,48 cm)" (Def. APS Vlaanderen).

Verwacht wordt dat dit aantal in de toekomst zal blijven toenemen (Notteboom en Rodrigue, 2008).

Het gebruik van containers voor transport hangt, ondanks de toenemende mate van gebruik, in grote mate af van het dynamische karakter van het containertransport, de containerbouw en de container leasing industrie. Voornamelijk als gevolg van de aanhoudende trend van het toenemende handelsonevenwicht, is het beheer van lege containers de laatste decennia een topprioriteit geworden voor de containerscheepvaart (Theofanis en Boile, 2008).

3.1.1 Evolutie in containerisatie en handelsonevenwicht

De economische groei van Aziatische grootmachten als China en India de laatste decennia heeft voornamelijk geleid tot een explosie van het maritieme containertransport. Containers, als gestandaardiseerde eenheid, creëren immers een enorme reductie van de transportkosten en afhandelingskosten in havens en andere overslagpunten. Zo heeft containerisatie ervoor gezorgd dat transport sneller en efficiënter kan verlopen. Bovendien maakt containerisatie het mogelijk om meerdere ladingen gelijktijdig te behandelen (Bandeira et al., 2009). Tussen 2002 en 2006 is het totaal aantal behandelde containers in havens toegenomen met een gemiddelde jaarlijkse groei van 11 procent en verwacht wordt dat tegen 2011 het totaal aantal vervoerde containers zal verdubbelen ten opzichte van het referentiejaar 2001 (ITMMA, 2007).

Als gevolg van deze enorme toename in het maritieme transport van containers is ook het volume lege containers dat dient verplaatst te worden van consumptie naar productie regio's aanzienlijk toegenomen (Shintani et al., 2007). Het probleem van het globale handelsonevenwicht en de noodzaak voor de herpositionering van lege containers is, en zal ook in de toekomst een belangrijk logistiek transportprobleem blijven (Theofanis en Boile, 2008; Jula et al., 2006).

3.1.2 Betrokken actoren bij containerisatie en het logistieke probleem van het beheer van lege containers

In essentie kunnen we stellen dat er hoofdzakelijk twee grote partijen zijn in het beheer van maritieme vrachtcontainers zijnde enerzijds de verschillende grote containerrederijen (China Shippig, Evergreen, CMA-CGM, Mediterranean Shipping Co, Maersk Line, etc.) waaronder ook niche- en feedervervoerders en anderzijds de container leasing maatschappijen (Theofanis en Boile, 2008). Daarbuiten is er nog een kleine vloot van vrachtcontainers, meestal oude containers dichtbij het einde van hun levensduur, die eigendom zijn van containerdepot exploitanten. Deze laatste staan voornamelijk in voor het verwerken, opslaan en herstellen van lege containers. Verder is er nog een marginaal aandeel van containers eigendom van, of gehuurd door vervoersbedrijven.

Het zeer geringe aantal vrachtcontainers in beheer van derden buiten beschouwing gelaten, bezitten internationale containerrederijen en andere transportbedrijven ongeveer 59 procent van de wereldwijde vloot aan containers terwijl dit voor leasebedrijven ongeveer 41 procent van de totale vloot is (Lam et al., 2007).

3.1.2.1 Samenstelling en structuur van de containermarkt

De afgelopen decennia is de globale containervloot aanzienlijk toegenomen, voornamelijk als gevolg van de ongekende groei van het wereldwijde containertransport (MARAD, 2008). Geschat wordt dat tegen eind 2010 de globale containervloot de kaap van dertig miljoen TEU zal overschrijden (Dynamar, 2008; UNCTAD, 2006; Theofanis en Boile, 2008).

Hiermee samenhangend is het aandeel in het containerbezit van de rederijen en andere transportbedrijven gedurende de jaren sterk gestegen. Van 53,6 procent in het jaar 2002 naar ongeveer 60 procent in het jaar 2007 (Theofanis en Boile, 2008). Deze trend kan verklaard worden door de lage kostprijs van nieuwe containers begin jaren 2000 (Coslovich et al., 2006; Theofanis en Boile, 2008). Eveneens heeft deze trend geleid tot een verdere inkrimping van het aandeel van leasebedrijven in de containerindustrie.

De tendens van toenemend containerbezit en marktaandeel van rederijen en transportoperatoren kan toegeschreven worden aan een aantal factoren zoals het feit dat rederijen en transportoperatoren hun activiteiten verder willen integreren en daarom volledige controle over hun containervloot willen hebben; het gebruik van verbeterde managementsystemen die continue informatie verstrekken over het beheer van hun voorraden (lege containers in containerdepots); de ervaring en knowhow die ze hebben vergaard omtrent het beheer en de reallocatie van lege containers (Coslovich et al., 2006; Theofanis en Boile, 2008).

3.1.2.2 Container leasing en container lease overeenkomsten

Het concept van de container leasing industrie is begin jaren '70 ontstaan als een gevolg van de economische voordelen en flexibiliteit die verhuurders van containers konden bieden aan vrachtvervoerders. Door een concentratie van de leasing industrie midden jaren '90 zijn er momenteel een vijftal leasebedrijven die ongeveer 60 procent van de totale container leasevloot bezitten.

Momenteel zijn er een drietal types van gangbare lease overeenkomsten zijnde de 'master' lease overeenkomsten, de lange termijn lease overeenkomsten en korte termijn lease overeenkomsten. 'Master' leasing, ook wel full-service leasing genoemd, zijn korte tot middellange termijn container leaseregelingen met complexe voorwaarden ten aanzien van beide partijen. Bij een dergelijke leaseovereenkomst is de leasemaatschappij ten volle verantwoordelijk voor het beheer van de containervloot (herpositionering, onderhoud en reparatie).

Lange termijn lease overeenkomsten betreffen voornamelijk het langdurig gebruik door transportbedrijven of vervoerders. Bij zulke lange termijn leasecontracten is de leasemaatschappij niet verantwoordelijk voor het herpositioneren en onderhouden van de geleasede containervloot, maar valt dit onder de aansprakelijkheid van de huurder (Theofanis en Boile, 2008).

Korte termijn lease overeenkomsten worden meestal aangegaan wanneer er een onmiddellijke vraag is naar vrachtcontainers. Bij dit type van lease overeenkomst zijn de

leaseprijzen vaak zeer flexibel. In onderstaande tabel (tabel 3-1) vindt u een samenvatting van de besproken lease overeenkomsten.

TABEL 3-1. CONTAINER LEASE OVEREENKOMSTEN (THEOFANIS EN BOILE, 2008).

Lease type	Duration	Repositioning	Maintenance and repair	Other arrangements
Master lease	Short to medium term	Leasing company	Leasing company	Variable number of containers (min/max) Variable lease duration On hire and off hire credits/debits (depending on location and equipment condition)
Long term lease	5-8 years	Lessee	Lessee	Fixed number of containers Predetermined delivery schedule
Short term lease	Short period/trip/round trip	Lessee	Lessee	-

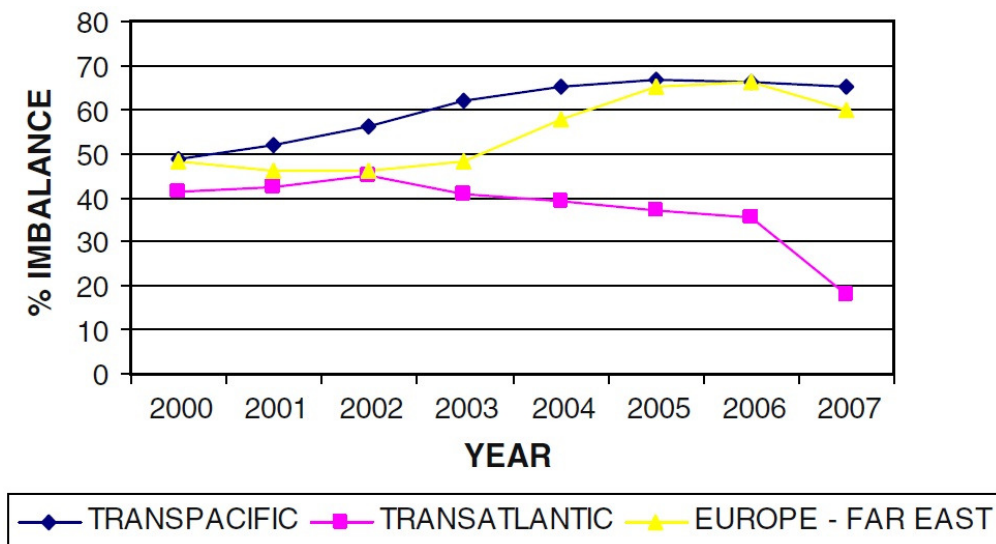
De afgelopen jaren heeft er zich een fundamentele verschuiving voor gedaan van 'master' leasing naar lange termijn leasing. De drijfveren hiervoor waren de hoge kosten die gepaard gingen bij het herpositioneren van lege containers door de leasing maatschappijen (Boile et al., 2006). Anderzijds hebben vervoerders en rederijen zo een betere controle over de containervloot in termen van herpositionering en onderhoudskosten (Notteboom en Rodrigue, 2008).

3.1.3 Factoren die een invloed hebben op containerisatie en handelsonevenwichten

Productie netwerken – het verband van onderling verbonden functies en werkzaamheden via welke goederen en diensten worden geproduceerd en gedistribueerd – zijn doorheen de jaren organisatorisch complexer geworden en nemen nog steeds wereldwijd toe wat betreft hun geografische omvang. Structurele veranderingen in de globale productie netwerken (GNP) hebben echter geleid tot een aanzienlijke lokale toename van handelsonevenwichten (Notteboom en Merckx, 2006). Uit figuur 3-1 blijkt dat het handelsonevenwicht in de internationale handel, voornamelijk deze via de Stille Zuidzee (Transpacific) en tussen Europa - Verre Oosten, aanzienlijk is toegenomen ten opzichte van het referentiejaar 2000 (Boile et al., 2006). Opmerkelijk is het feit dat er in figuur 3-1 een daling is waar te nemen in het handelsonevenwicht op de Trans-Atlantische

handelscorridor. Deze daling, die benadrukt wordt door een sterke afname sinds 2006, is het resultaat van de wereldwijde aanhoudende economische crisis die voornamelijk de Amerikaanse exportmarkt zwaar heeft getroffen. Als resultaat hiervan daalde de export naar andere overzeese gebieden waardoor hiermee samenhangend de vraag naar lege vrachtcontainers daalde (ITMMA, 2007).

Het allocatieprobleem van lege containers dient echter een topprioriteit te blijven voor de containerscheepvaart en rederijen. Ondanks een daling van het handelsonevenwicht op de Trans-Atlantische handelscorridor dienen wekelijks bijna negentien schepen met een laadvermogen van 8000 TEU te worden ingezet voor de herpositionering van lege vrachtcontainers naar overzeese bestemmingen. Voor de handel via de Stille Zuidzee (Transpacific) en tussen Europa - Verre Oosten is dit bijna het dubbele (Dynamar, 2008).



FIGUUR 3-1. HANDELSONEVENWICHTEN TUSSEN BELANGRIJKE INTERNATIONALE VAARGEBIEDEN (THEOFANIS EN BOILE, 2008; BOILE ET AL., 2006).

De structurele veranderingen in de internationale handel hebben eveneens geleid tot een onevenwicht wat betreft de heen- en retourtransfer, waardoor het logistieke beheer van het maritieme containertransport en de herpositionering van lege containers een zeer complexe taak blijft (Notteboom en Rodrigue, 2007). In periodes met een geringe vraag naar containertransport hebben rederijen de neiging om alle mogelijkheden betreffende retourtransfer van lege containers te benutten, terwijl in periodes met een hoge vraag

naar containertransport de rederijen hun activiteiten voornamelijk concentreren op de onmiddellijke herpositionering van lege containers naar de exportgebieden (ITMMA, 2007).

3.1.4 Totale kosten van inefficiënte container operaties en kosten verbonden aan de allocatie van lege containers

De dynamieken in het maritieme containertransport en de afhankelijkheid van verschillende factoren die deze beïnvloeden bemoeilijken het nauwkeurig berekenen van de totale kosten van inefficiënte containeroperaties en kosten die verbonden zijn aan de allocatie van lege containers.

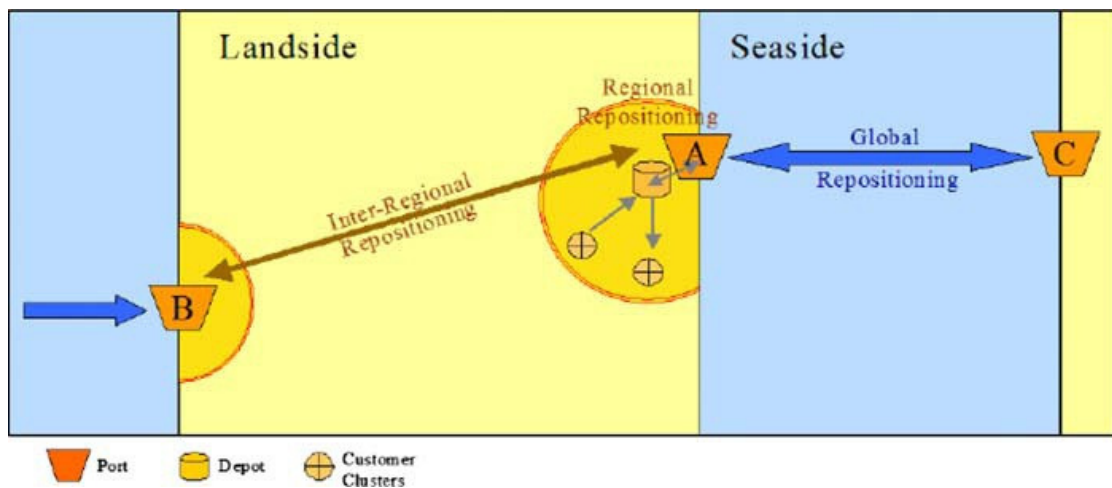
Diverse bronnen geven een aantal ruwe indicaties van deze kosten. Zo werd geschat dat de kosten van inefficiëntie in het containerbeheer ongeveer 17 miljard dollar bedroegen in het jaar 2001 (Boile et al., 2006). Een andere bron die steunt op informatie van Drewry Consultants schat dat de kosten voor de herpositionering van lege containers wereldwijd jaarlijks tot 20 miljard dollar kunnen oplopen (Veestra, 2005). Een fractie van deze astronomische bedragen is afkomstig van de herpositionering van lege vrachtcontainers in de binnenvaart.

Als gevolg van deze buitensporige bedragen proberen rederijen een strengere controle te houden over hun containertransport door enerzijds de benodigde tijd te verminderen die ze opleggen aan afnemers en verladers voor het retourtransport van hun lege containers en anderzijds door het opleggen van een onkostenvergoeding wanneer afnemers of verladers de opgelegde termijn voor het retourtransport overschrijden (ROI, 2002). Opmerkelijk is dat deze onkostenvergoeding zelfs vervierdubbelde tussen 1998 en 2002 (The Tioga Group, 2002).

Bovendien trachten rederijen ook om de omlooptijd van containers in het transportproces te beperken door logistieke operaties te laten plaatsvinden in landinwaarts gelegen magazijnen en distributiecentra in de onmiddellijke nabijheid van containerterminals en havens (Theofanis en Boile, 2008).

3.2 Geografische niveaus in het beheer en de herpositionering van lege containers

Het beheer van lege containers is zoals eerder besproken een globaal probleem dat zich afspeelt op vier geografische niveaus, te weten het mondiale, het interregionale, het regionale en het lokale niveau (zie onderstaande figuur 3-2).



FIGUUR 3-2. GEOGRAFISCHE NIVEAUS VOOR DE HERPOSITIONERING VAN LEGE VRACHTCONTAINERS IN EEN MARITIEM NETWERK (BOILE ET AL., 2008).

3.2.1 Herpositionering van lege containers op mondiaal niveau

Het mondiale niveau betreft een massale overzeese herpositionering van lege vrachtcontainers van consumptie naar productie regio's of van gebieden met een overschot naar gebieden met een deficit aan lege containers. Deze grootschalige overzeese container allocaties zijn voornamelijk veroorzaakt door structurele veranderingen in de globale productie netwerken (GNP) die een aanzienlijke toename van de globale handelonevenwichten danig in de hand hebben gewerkt (Notteboom en Merckx, 2006).

3.2.2 Herpositionering van lege containers op interregionaal niveau

De herpositionering van lege containers op interregionaal niveau betreft hoofdzakelijk een evenwichtige allocatie binnen een groot geografisch gebied zoals Europa, Azië en Noord-Amerika dat uiteindelijk tot een globale herpositionering kan leiden. Interregionale herpositionering wordt hoofdzakelijk verwezenlijkt via intermodaal vervoer of via short sea shipping (Theofanis en Boile, 2008).

3.2.3 Herpositionering van lege containers op regionaal of lokaal niveau

De allocatie van containers vindt ook plaats op regionaal of lokaal niveau. Vaak worden deze schaalniveaus samen beschouwd omdat ze hoofdzakelijk dezelfde operaties betreffen: lege containers worden getransporteerd tussen havendepots of havens, importeurs, exporteurs en landinwaarts gelegen containerdepots (Notteboom en Rodrigue, 2007). Doelstellingen op dit niveau zijn hoofdzakelijk het streven naar een optimale locatie van opslagdepots in de nabijheid van haven- of intermodale terminals en in de nabijheid van afzetmarkten of consumentenclusters. De focus van deze verhandeling ligt voornamelijk in het optimaliseren van de herpositionering van lege vrachtcontainers op deze laagste schaalniveaus.

4 Het planningsproces van het beheer van lege vrachtcontainers

Wat het probleem van de herlocatie van lege vrachtcontainers betreft, rijzen er een aantal vragen omtrent de organisatie van hinterlanddistributie en transportoperaties van rederijen en transportbedrijven. Voornamelijk gaat het hierbij over de verschillende niveaus van het planningsproces van het beheer van lege containers, alsmede de besluitvormingsprocessen die van toepassing zijn op de verschillende geografische niveaus.

4.1 Planningsproces

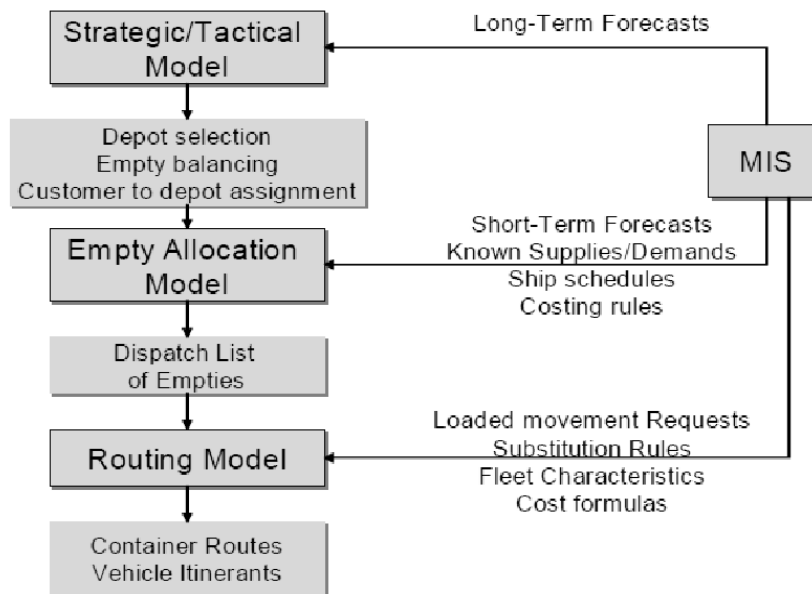
In de studie van Crainic, Dejax en Gendreau (1993) over dynamische en stochastische modellen voor de herlocatie van lege containers wordt het planningsproces weergegeven dat beslissingen, gemaakt door rederijen en transportbedrijven, beïnvloedt op de verschillende niveaus.

Één van de belangrijkste activiteiten van het huidige planningsproces van het beheer en de reallocatie van lege vrachtcontainers is het plannen hoe geladen of volle containers getransporteerd kunnen worden van de producent naar afnemers en consumenten (Li et al., 2004).

4.1.1 Planningsniveaus in het planningsproces

De verschillende planningsniveaus van het plannings- en beslissingsproces zijn weergegeven in figuur 4-1. Er kan een onderscheid gemaakt worden tussen strategische, tactische en operationele planningsniveaus.

In hun studie argumenteren Crainic, Dejax en Gendreau (1993) dat zich op elk niveau mogelijkheden aanbieden om technieken uit het domein van operationeel onderzoek toe te passen. Deze technieken maken het mogelijk om analyse- en beslissingsprocessen te ondersteunen maar kunnen echter niet door één specifiek model gerepresenteerd worden omdat ze noch dezelfde data, noch dezelfde middelen gebruiken voor hun planning (Dejax et al., 1988).



FIGUUR 4-1. GLOBALE BENADERING VAN HET LOGISTIEK PROBLEEM ROND DE HERLOCATIE VAN LEGE CONTAINERS MET INBEGRIIP VAN DE VERSCHILLENDE PLANNINGNIVEAUS (CRAINIC, GENDEREAU ET AL., 1993).

4.1.1.1 Strategisch en tactisch planningsniveau

Het bovenste niveau betreft de strategische en tactische planning van operaties en heeft betrekking op lange termijn planning. Het model wordt geformuleerd als een multimodaal, locatie-distributie probleem van goederen (Crainic et al., 1991). Verschillende specifieke algoritmes werden hiervoor ontwikkeld die allen gebruik maken van de bijzondere kenmerken van de formulering.

In deze planningsfase wordt de netwerkconfiguratie weergegeven voor de huidige planningsperiode, de logistieke zones worden bepaald alsook de keuze van de containerdepots, de herlocatie van lege containers tussen depots onderling wordt bepaald en de afnemers en consumenten worden toegewezen aan de verschillende depots. Afnemers en consumenten kunnen toegewezen worden aan meerdere depots indien nodig (Dejax et al., 1992).

Strategische keuzes kunnen eveneens beïnvloed worden door de keuze van opslag- en overslagterminals omdat deze niet beheerd worden door de verschillende rederijen (Nilsson, 2002; Dejax et al., 1992). Dit geeft de rederijen de mogelijkheid en flexibiliteit om hun maritiem netwerk continu te herzien, wat een invloed heeft op de strategische planning. Tactische beslissingen hebben voornamelijk betrekking op de operationele aspecten van de allocatie- en herpositioneringsactiviteiten van containers (Nilsson, 2002).

Beslissingen die gemaakt worden op deze planningsniveaus vormen niet meteen de basis voor concrete activiteiten maar kunnen dienen voor het bepalen van de omvang van de stromen om zo te onderhandelen over tarieven en leaseovereenkomsten die het operationele niveau beperken (Nilsson, 2002; Dejax et al., 1992).

4.1.1.2 Operationeel planningsniveau

Het allocatiemodel voor lege vrachtcontainers en het routeringsmodel stemmen overeen met het operationeel planningsniveau van de activiteiten van een onderneming (Dejax et al., 1992). Op dit planningsniveau moet ervoor worden gezorgd dat aan de vraag van consumenten en afnemers wordt voldaan en dat de meest efficiënte routes en de economisch voordeligste transportmodi geselecteerd worden om de meest optimale dienstverlening te bereiken in een dynamische en stochastische omgeving (Nilsson, 2002; Dejax et al., 1992).

Momenteel reikt de literatuur ons echter geen optimale oplossing aan voor het geïntegreerde probleem van distributie en allocatie van volle en lege containers wegens de complexiteit van het geheel en is het aangewezen gebruik te maken van twee verschillende optimalisatiemodellen, met name allocatiemodellen en routeringsmodellen (Crainic et al., 1993; Shintani et al., 2007). Verdere duiding omtrent allocatiemodellen en routeringsmodellen wordt gegeven in paragraaf 5.

4.1.2 Besluitvormingsprocessen in het planningsproces van het beheer en de herpositionering van lege containers in functie van de verschillende geografische schaalniveaus

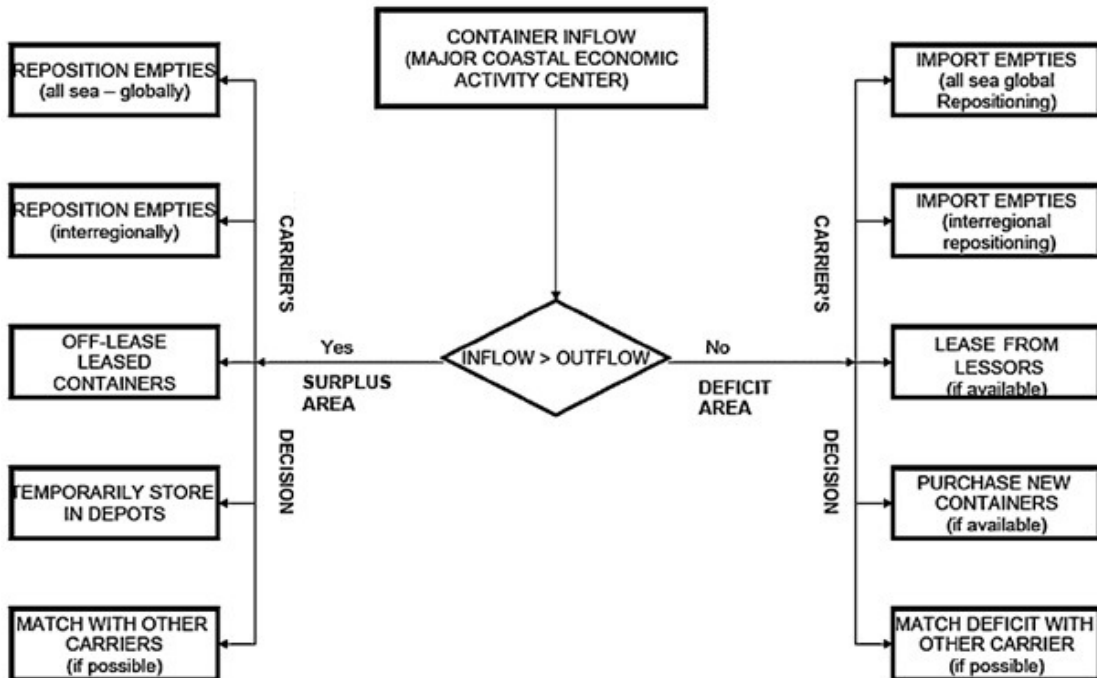
Onderstaande paragrafen illustreren de mogelijke opties die containerrederijen en maritieme containertransportbedrijven in hun besluitvormingsprocessen kunnen maken betreffende het beheer en de herpositionering van containers voor de verschillende geografische schaalniveaus.

4.1.2.1 Besluitvormingsprocessen op mondiaal niveau betreffende de allocatie van lege containers

Onderstaande figuur (figuur 4-2) illustreert de mogelijkheden die rederijen hebben in de besluitvorming op mondiaal niveau voor de herlocatie van lege vrachtcontainers tussen exportgebieden en importgebieden. Als de instroom van containers in een belangrijke economische regio groter is dan de uitstroom aan containers (m.a.w. de regio is voornamelijk import gericht) beschikt deze regio over een overschot aan lege containers.

Op mondiaal niveau hebben containerschepen en rederijen in dit geval een aantal opties zoals het herpositioneren van lege containers naar gebieden met een hoge en dringende vraag (belangrijke overzeese productiecentra), het overschot aan containers verhuren aan bevrachters of expeditiebedrijven dewelke zelf beslissingen nemen omtrent de beschikbaarheid ervan, de tijdelijke stockage van containers in containerdepots voor er beslissingen worden genomen over herpositionering of het verkopen van oudere containers die hun reguliere levensduur bijna hebben bereikt (Notteboom en Rodrigue, 2007).

Als de uitstroom aan containers groter is dan de instroom (m.a.w. de regio is voornamelijk export gericht) hebben containerschepen en rederijen volgende opties: het herpositioneren van lege containers uit gebieden met een overschot aan containers (overzees of interregionaal), het leasen van containers van daarvoor speciaal opgerichte container leasingmaatschappijen of het aankopen van nieuwe containers indien deze beschikbaar zijn.



FIGUUR 4-2. BESLUITVORMINGSPROCESSEN OP GLOBAAL NIVEAU IN HET BEHEER EN DE HERPOSITIONERING VAN LEGE CONTAINERS (BOILE ET AL., 2006).

4.1.2.2 Besluitvormingsprocessen op interregionaal niveau betreffende de allocatie van lege containers

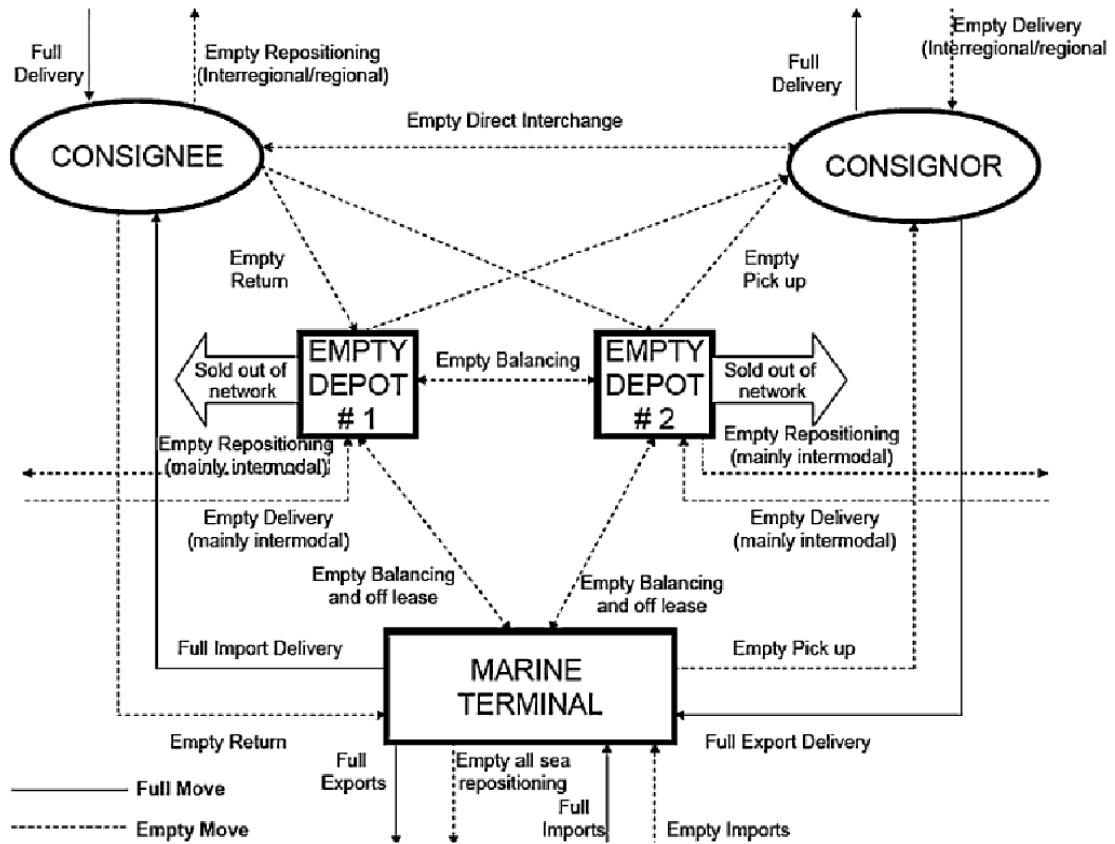
Op interregionaal niveau passen rederijen en containerschepen voornamelijk gevarieerde strategieën en besluitvormingsprocessen toe. In het algemeen verkiezen ze een verticale integratie van hun dienstennetwerk en verlenen ze eveneens vrachtransport via spoor om zo hun logistieke kosten te beperken waardoor het beheer en de herpositionering van lege containers efficiënter verloopt op dit niveau (Debie en Gouveral, 2006). Wat het interregionaal niveau betreft zijn er in Europa momenteel twee contractuele regelingen voor container levering van kracht. Enerzijds het inlandvervoer dat door de verschillende scheepvaartlijnen wordt verzorgd ('carrier haulage') en anderzijds het inlandvervoer dat wordt uitgevoerd door verladers of expediteurs die optreden namens verladers ('merchant haulage'). Daar waar bij 'carrier haulage' de rederij verantwoordelijk is voor de uiteindelijke levering aan de afnemer, is bij de 'merchant haulage' de afnemer of derde partij verantwoordelijk voor de levering.

Wanneer scheepvaartlijnen instaan voor het inlandvervoer hebben rederijen en container transportbedrijven het voordeel dat ze een betere controle hebben over de vloot van containers die landinwaarts worden getransporteerd. Dit is echter niet het geval wanneer verladers of expediteurs instaan voor het finale transport naar de geadresseerde. Door de complexiteit verliest men hierdoor sneller het overzicht over de containervloot wat uiteindelijk kan leiden tot een misallocatie van containers. Onder bepaalde omstandigheden kunnen verladers of expediteurs hun deur-aan-deur dienstenverleningsnetwerk beperken om zo de kosten voor de retourtransfer van containers naar depots of zeeterminals te reduceren (Mongeluzzo, 2007).

4.1.2.3 Besluitvormingsprocessen op lokaal en regionaal niveau betreffende de allocatie van lege containers

De besluitvormingsprocessen, dynamieken en interacties tussen de verschillende belanghebbenden op lokaal en regionaal niveau worden weergegeven in figuur 4-3.

Volle containers komen de haven binnen via containerschepen en worden vervolgens via wegtransport, spoor, binnenvaart of een combinatie hiervan naar de finale bestemming getransporteerd. Eenmaal containers zijn gelost, zijn er een aantal mogelijke opties. De container kan onmiddellijk terug getransporteerd worden naar de haven om vervolgens geherpositioneerd te worden op globale schaal. Een andere optie bestaat uit het herpositioneren van lege containers naar haventerminals of landinwaarts gelegen containerdepots in afwachting van een vraag naar lege containers. Een derde mogelijk bestaat erin om de lege containers rechtstreeks te verplaatsen naar locaties waar er een grote vraag is naar containers (vb. vrachtvervoerders, exporteurs, etc.). Vanwege de complexe organisatie van het containerbeheer wordt slechts 3% van de lege containerverplaatsingen rechtstreeks van import- naar exportbedrijven gealloceerd (Dejax et al., 1988).



FIGUUR 4-3. DE STROOM VAN LEGE CONTAINERS OP LOKAAL EN REGIONAAL NIVEAU (BOILE ET AL., 2006).

Momenteel worden containers, eenmaal ze gelost zijn bij de verlader of afnemer, onmiddellijk terug getransporteerd naar de haven. Daar worden ze tijdelijk opgeslagen in containerdepots in afwachting van een globale herpositionering of in afwachting van een vraag naar lege containers. Wanneer in het hinterland een vraag ontstaat naar lege vrachtcontainers worden deze containers vanuit de haven opnieuw naar het hinterland getransporteerd (Theofanis en Boile, 2008).

Onder bepaalde omstandigheden kan een opeenhoping van lege containers in daarvoor voorziene opslagfaciliteiten een probleem worden met betrekking tot import-export handelsevenwichten (Boile et al., 2006; Theofanis en Boile, 2008; Rodrigue en Notteboom, 2008).

Lege containers die opgeslagen liggen in een bepaalde economische regio vallen binnen de categorieën van containers die tijdelijk opgeslagen liggen, wachtend om uitgevoerd te

worden of geherloceerd te worden naar exportgebieden en containers dichtbij het einde van hun levensduur die voor langere tijd zijn opgeslagen en bestemd zijn voor herverkoop aan de secundaire markt (Theofanis en Boile, 2008). Voor de eerste categorie van containers wordt de besluitvorming genomen op het hoogste hiërarchische niveau, globaal door de rederijen. Voor de tweede categorie van containers wordt de besluitvorming vaak genomen op lokaal en regionaal niveau (Boile et al., 2006). Aangezien het herlocatieprobleem van lege containers wordt gedreven door een wereldwijde en complexe industrie dienen zulke besluitvormingsprocessen op lokaal en regionaal niveau, voor het beperken van de opeenhoping van lege containers in bepaalde gebieden, te worden beperkt teneinde doeltreffendheid in de aanpak van het probleem te bekomen.

Beperkingen wat betreft de opslagtijd en de daarbijhorende prijsmechanismen die worden opgelegd door terminal- en depotexploitanten (vb. beperking van de gratis opslagruimte, toename van de tarieven voor opslag, etc.) kunnen een aanzienlijke invloed hebben op de productiviteit, verwerkingscapaciteit en containeroverslag van havens en kunnen eveneens de effectiviteit van het beheer van lege containers beïnvloeden (Rodrigue en Notteboom, 2008; Merckx, 2005).

4.2 Planningshorizon van het beheer en de herpositionering van lege containers

De lengte van de planningshorizon is een belangrijke factor in transportoperaties en productieplanning en beïnvloed het resultaat van de optimalisatie. Er zijn tal van factoren die deze planningshorizon beïnvloeden zoals het netwerk dat in beschouwing wordt genomen, vraag en aanbod, de totale transporttijd in het systeem, stockage, het aantal beslissingsvariabelen, etc. (Jansen et al., 2004; Nilsson, 2002).

Hoewel de lengte van de planningshorizon in grote mate afhankelijk is van het netwerk dat in beschouwing wordt genomen, blijkt een langere planningshorizon een betere distributie te geven op korte termijn en kan het gebruik van goedkopere maar langzamere transportmodi zoals binnenvaart bemoedigen (Choong et al., 2002). Wanneer er echter geen informatie beschikbaar is over toekomstige perioden van het

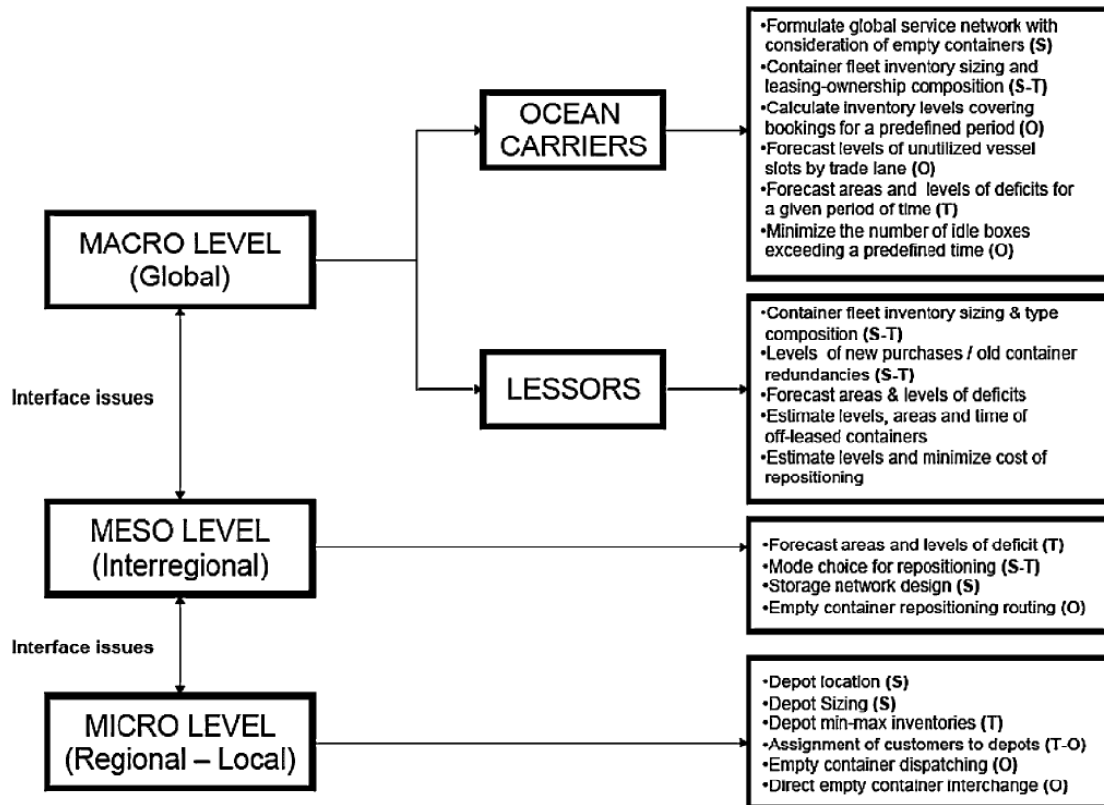
containermanagement verdient een kortere planningshorizon de voorkeur (Nilsson, 2002; Choong et al., 2002).

Studies suggereren echter dat de lengte van de planningsperiode niet langer mag zijn dan de link in het transportsysteem die het meeste tijd in beslag neemt (Choong et al., 2002). In de literatuur wordt de planningshorizon voor intermodaal containertransport beperkt tussen de 10 en 20 dagen om het aantal beslissingsvariabelen beheersbaar te houden (Nilsson, 2002; Choong et al., 2002).

4.3 Optimalisatiestrategieën en technologische oplossingen

De structurele en logistieke problemen in het (maritiem) containertransport hebben ervoor gezorgd dat er de laatste decennia aanzienlijk wetenschappelijk onderzoek is gewijd aan het optimaliseren van de herpositionering van lege vrachtcontainers in een intermodaal transportsysteem.

In figuur 4-4 worden een aantal typische optimalisatiestrategieën en oplossingen aangereikt op globaal, interregionaal en lokaal niveau die betrekking hebben op het beheer van lege containers. Er is reeds een aanzienlijk aantal onderzoeken gepubliceerd in verband met het beheer en de herpositionering van lege containers. In deze onderzoeken ligt de nadruk voornamelijk in het optimaliseren van dit logistieke probleem zoals de toewijzing en verdeling van lege vrachtcontainers aan terminals en havens, evenwicht bekomen tussen import- en exportstromen om zo te voldoen aan toekomstige eisen voor verscheping (Crainic et al., 1993; Gendron en Crainic, 1995; Shen en Khoong, 1995; Coslovich et al., 2006; Choong et al., 2002, Olivo et al., 2005; Song en Earl, 2008), de effecten van de planningshorizon op het beheer en de herpositionering van lege containers (Jansen et al., 2004; Cheung en Chen, 1998), de dynamische toewijzing van lege containers (Jula et al., 2006; Janakiraman et al., 2007) en strategieën met betrekking tot het balanceren van lege containerstromen in de context van een netwerk design probleem (Gendron en Crainic, 1997; Bourbeau et al., 2000; Imai en Rivera, 2001; Powell en Topaloglu, 2003; Li et al., 2004; Ting en Tzeng, 2004; Song et al., 2005; Ang et al., 2007; Shintani et al., 2007; Boile et al., 2008).



FIGUUR 4-4. OPTIMALISATIESTRATEGIEËN EN TECHNOLOGISCHE OPLOSSINGEN DIE GENOMEN KUNNEN WORDEN OP HET STRATEGISCHE (S), TACTISCHE (T) EN OPERATIONELE (O) PLANNINGSNIVEAU (THEOFANIS EN BOILE, 2008).

Het aanwenden van meer geavanceerde toepassingen in het beheer van lege containers, zoals het gebruik van efficiëntere management informatie systemen (INNTRA, CargoSmart), samen met systemen voor de uitwisseling van containercapaciteit is een mogelijke optimalisatiestrategie in het maritieme containertransport (Ting en Tzeng, 2004; Theofanis en Boile, 2008; Notteboom en Rodrigue, 2008). Hierdoor kunnen lege vrachtcontainers rechtstreeks getransporteerd worden naar containerdepots en magazijnen in het hinterland in plaats van naar de haven. Op die manier moeten de containers minder afstand afleggen en wordt het vaak congestierijke gebied rondom de haven zoveel mogelijk gemeden (UHasselt Magazine, 2009).

Door de opkomst van, en innovatie in computertoepassingen en geavanceerde technologische technieken werd het de laatste jaren eveneens mogelijk om lege containers efficiënter te transporteren tussen verlader en afnemer op basis van een

netwerkgericht informatie-uitwisselings platforms, voornamelijk met betrekking tot voor- en natransport via de weg. Deze netwerkgerichte informatie-uitwisselings platforms hebben als doel om de afgelegde afstand van lege containertransporten te beperken tot een minimum (Theofanis en Boile, 2007). Een soortgelijke inspanning op lokaal niveau dat leidt tot een efficiëntere uitwisseling van lege containers voor andere vormen van transport is het 'Box Sharing' initiatief, ontwikkeld door Port Infolink BV, in de haven van Rotterdam (Veestra, 2005). Een verdere ontwikkeling van zulke systemen kan het mogelijk maken om op termijn lege containers rechtstreeks van importeurs naar exporteurs te transporteren. Hierdoor wordt het transport naar een depot overbodig, hetgeen zowel de transportkosten als de behandelingskosten doet dalen (Boile et al., 2006; Theofanis en Boile, 2007).

Ook het samenbrengen van vraag en aanbod van lege containers via een op het internet gebaseerd systeem dient verder geoptimaliseerd te worden als technologische oplossing voor de herpositionering van lege containers. Door middel van een dergelijk systeem wordt het voor transporteurs eenvoudiger om onderling containers uit te wisselen en zo onnodige herpositionering te vermijden (Theofanis en Boile, 2008; UHasselt Magazine, 2009; Theofanis en Boile, 2007).

Tot slot dient nog het idee en de praktische toepassing van opvouwbare containers aangehaald te worden. Opvouwbare containers reduceren behandelings- en opslagkosten en hebben het voordeel dat ze minder plaats innemen wanneer ze leeg getransporteerd moeten worden. Hierdoor kunnen meer lege containers tegelijk getransporteerd worden en daalt de transportkost per lege container (UHasselt Magazine, 2009). De toepassing van het concept van opvouwbare containers, dat werd gelanceerd begin jaren tachtig, is echter niet succesvol gebleken. Redenen hiervoor zijn hoofdzakelijk de hoge kostprijs van zulke opvouwbare containers, een hoger leeggewicht, de kosten van het vouwen en ontvouwen en de kwetsbaarheid voor schade. Toch is het men het er in de literatuur over eens dat het concept nog potentieel heeft wat betreft een implementatie op grote schaal, op voorwaarde dat bovengenoemde gebreken verholpen worden in de nabije toekomst (Konings, 2005).

5 Het gebruik van optimalisatiemodellen in containertransport

De indrukwekkende groei van het maritieme containertransport de voorbije decennia heeft transportgericht tal van voordelen met zich meegebracht zoals een reductie van de transportkosten en afhandelingskosten, efficiënt en sneller transport en een verbeterde afstemming op intermodaal transport (Bandeire et al., 2009; Theofanis en Boile, 2008; Shintani et al., 2007; Dejax en Crainic, 1987). Ondanks de toenemende mate van containerisatie, het daarmee gepaard gaande handelsonevenwicht en een meestal invariabel planningsproces bij het containertransport dringt een allocatie van lege containers zich op de verschillende geografische niveaus. Zulke planningsproblemen worden aangeduid als dynamische container allocatie problemen (Dejax en Crainic, 1987). Vermits in de meeste gevallen het containertransport per binnenschip niet finaal is, dienen we bij het opstellen van allocatieprocessen en modellen eveneens rekening te houden met de routenetwerken van de overige transportsystemen (Crainic et al., 1993; Choong et al., 2002).

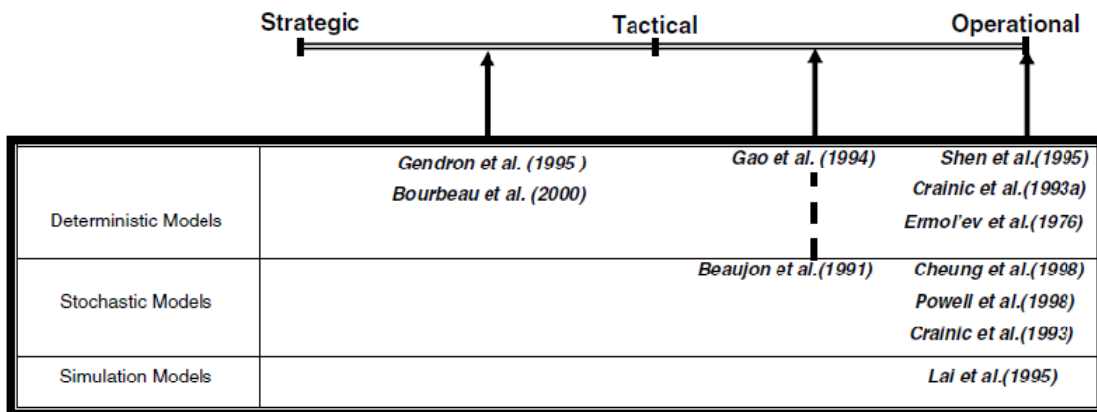
Zowel deterministische als stochastische optimalisatiemodellen worden voorgesteld om het allocatieprobleem van lege containers aan te pakken en in de mate van het mogelijke te verhelpen. De doelstelling van deze allocatie- of toewijzingsmodellen is het bepalen van de optimale verdeling van lege containers op de verschillende geografische niveaus, terwijl aan zowel de huidige als toekomstige vraag wordt voldaan (zie paragraaf 5.1).

Routenetwerken van overige transportsystemen kunnen geoptimaliseerd worden via routeringsmodellen die streven naar het minimaliseren van de totale transportkosten voor het transport van geladen en lege containers van hun oorsprong naar hun bestemming (zie paragraaf 5.2). Deze routeringsmodellen behoren echter niet tot de scope van deze verhandeling.

5.1 Container allocatie modellen

Een container allocatiemodel streeft naar het bepalen van wat de beste distributie is van lege containers en die voldoet aan de vraag en eisen van zowel huidige als toekomstige verladers en consumenten. Het meest realistische en plausibele allocatiemodel zou een stochastisch, dynamisch model moeten zijn met een planningshorizon van één of twee

weken om te voldoen aan de hoge graad van onzekerheid in realtime operaties van een transportsysteem en voor de impact van huidige beslissingen in de toekomst (Crainic et al., 1993; Braekers et al., 2009). Het formuleren en oplossen van een dergelijk uitgebreid en gecompliceerd model is een uitdagende taak waarvan tot dusver in de literatuur geen model wordt beschreven (Lam et al., 2007; Braekers et al., 2009; Choong et al., 2002; Di Francesco et al., 2009).



FIGUUR 5-1. CLASSIFICATIE VAN CONTAINER ALLOCATIE MODELLEN (LAM ET AL., 2007).

In de literatuur zijn een aantal deterministisch en stochastische optimalisatiemodellen voor een herpositionering van lege containers beschreven (zie figuur 5-1). Deterministische modellen veronderstellen een perfecte kennis van de beschikbare informatie. Als gevolg van de onzekerheid in de toekomstige vraag en het toekomstige aanbod kunnen deze modellen echter niet voorzien in het aantal gevraagde containers bij een groter dan verwachte vraag of een lager dan verwachte import (Erera et al., 2005; Powell en Topaloglu, 2003).

Stochastische optimalisatiemodellen daarentegen vereisen een goede kennis van onzekere parameters. Op dit moment bestaat er echter geen optimalisatiemodel, gericht op de herpositionering van lege containers, dat op basis van historische gegevens en logistieke praktijken voorspellingen kan doen omtrent vraag en aanbod van lege containers (Di Francesco et al., 2009).

Zoals reeds eerder vermeld richt deze verhandeling zich voornamelijk op de herpositionering van lege containers op regionaal niveau. Daarom worden enkel

optimalisatiemodellen met betrekking tot dit laagste schaalniveau besproken. Voor allocatiemodellen inzake globale maritieme herpositionering van lege vrachtcontainers, waarbij vaak gebruik wordt gemaakt van simulatie, wordt verwezen naar de desbetreffende literatuur hieromtrent. (Lai, Lam, en Chan, 1995; Cheung en Chen, 1998; Li, Leung, Wu, en Liu, 2007; Lam, Lee, en Tang, 2007; Di Francesco, Crainic, en Zuddas, 2009; Dong en Song 2009)

5.1.1 Deterministische optimalisatiemodellen

Deterministische optimalisatiemodellen voor de herpositionering van lege containers werden al reeds geïntroduceerd in de jaren '70 (Ermol'ev et al., 1976; Dejax en Crainic, 1987).

Crainic et al. (1989) behandelen het probleem van het herpositioneren van lege containers in een interregionaal transportnetwerk namens een maritiem transportbedrijf. Ze werken een optimalisatiemodel uit dat de kosten van opslag en containertransport minimaliseert, terwijl voldaan wordt aan de eisen van de afnemers en consumenten.

Crainic, Genderau en Dejax (1993) stellen een algemeen kader voor om het interregionale en lokale allocatieprobleem van lege containers aan te pakken in de context van een distributiesysteem over land en een maritieme transportmaatschappij. Zij ontwikkelen een deterministisch tijdsgebonden 'single-commodity' en 'multi-commodity' model om de totale exploitatiekosten te minimaliseren. In tegenstelling tot het eerste model kon dit model meerdere vervoerswijzen, de capaciteit van de opslag en de capaciteit van de vervoersmodi in rekening nemen. In een daaropvolgende studie van Abrache, Crainic en Gedreau (1999) werd een algoritme uitgewerkt op basis van het deterministisch 'multi-commodity' model, geformuleerd door Crainic, Genderau en Dejax (1993).

Andere deterministische allocatiemodellen werden voorgesteld door Jula, Chassiakos en Ioannou (2003) en Olivo, Zuddas, Di Francesco en Manca (2005). Jula et al. (2003) stelden een statisch en dynamisch deterministisch optimalisatiemodel voor op lokaal niveau met overslag tussen inwaarts gelegen containerdepots. Resultaten tonen aan dat bij toepassing van deze modellen de kosten aanzienlijk dalen. Chang, Jula, Chassiakos en

Ioannou (2006) introduceerden container substitutie in de modellen van Jula, Chassiakos en Ioannou (2003). Een toepassing van dit optimalisatiemodel van Jula, Chassiakos en Ioannou (2003) werd uitgewerkt door Jansen, Swinkels, Teeuwen et al. (2004). Deze laatsten beschreven een operationele planning voor het Duitse logistieke concern 'Danzas Euronet' waarbij het herpositioneringsprobleem van lege containers werd gemodelleerd als een minimaal kostenprobleem (Braekers et al., 2009).

Olivo, Zuddas, Di Francesco en Manca (2005) ontwikkelen een dynamisch en deterministisch model voor de allocatie van lege containers op continentaal of interregionaal niveau waarbij het herpositioneringsprobleem werd geformuleerd als een minimaal kostenprobleem. Di Francesco, Manca en Zuddas (2006) volgen een soortgelijke benadering in het allocatieprobleem van lege containers op regionaal niveau.

Maraš (2008) stelt een deterministisch optimalisatiemodel op voor de herpositionering van lege containers op lokaal niveau dat zich specifiek richt op een lineair binnenvaartnetwerk. Op basis van dit mathematisch routenetwerkmodel wordt een model geconceptualiseerd dat het mogelijk maakt om na te gaan of in een gegeven situatie een optimale allocatie van lege containers wordt bekomen.

5.1.2 Stochastische optimalisatiemodellen

Hoewel deterministische modellen perfecte kennis veronderstellen van de beschikbare informatie houden ze geen rekening met belangrijke stochastische kenmerken van de (toekomstige) vraag en aanbod. Deze stochastische eigenschappen bevatten meestal een bron van waardevolle informatie die, indien deze niet mee in rekening worden genomen, kan leiden tot niet optimale oplossingen (Lam et al., 2007).

Beaujon en Turnquist (1991) stelden een stochastisch model voor waarbij het zowel betreft over een optimalisatie van de vloot en een allocatie van beladen en lege voertuigen.

Crainic, Genderau en Dejax (1993) ontwikkelen naast het deterministisch tijdsgebonden 'single-commodity' en 'multi-commodity' model eveneens een stochastisch 'single-commodity' allocatiemodel.

Cheung en Chen (1998) vergelijken een tweefasig stochastisch model met een tweefasig deterministisch model voor het dynamische allocatieprobleem van lege containers. Vooral met betrekking op de planningshorizon concluderen ze dat een langere planningshorizon in sommige testcases tot betere resultaten leidt dan een kortere planningshorizon, maar dat in andere gevallen de testresultaten verslechteren.

5.2 Voertuig routeringsmodellen

Het doel van voertuig routeringsmodellen is het minimaliseren van de totale transportkosten van zowel lege als beladen containers. De output van dergelijk model bestaat uit een set van transportroutes die de bewegingen van beladen en lege containers voor de volgende periodes volledig beschrijven (Crainic et al., 1993; Braekers et al., 2009).

Literatuur omtrent voertuig routeringsproblemen en -modellen is vrij uitgebreid. In studies wordt er vaak onderscheid gemaakt tussen een tweetal probleemcategorieën. De eerste categorie, het zogenaamde "Vehicle Routing Problem with Backhauls (VRPB)" richt zich voornamelijk op het transport van goederen van de depots en magazijnen naar de afnemers en groothandelaars. De tweede categorie omvat modellen voor het transport van goederen naar klanten en wordt aangeduid als het "Vehicle Routing Problem with Pickups and Deliveries (VRPPD)". (Parragh et al., 2008; Braekers et al., 2009).

Vermis voertuig routeringsmodellen niet tot de scope van deze verhandeling behoren, zullen ze ook niet verder worden besproken.

6 Het bepalen van de optimale transportroutes voor containertransport in de binnenvaart

In onderstaande paragraaf wordt een formulering van het optimalisatiemodel van Maraš (2008) weergegeven dat gebruikt wordt in de context van planning en herpositionering van lege containers in een lineair binnenvaartnetwerk. De keuze voor dit optimalisatiemodel is te verklaren door het feit dat het praktijkonderzoek zich voornamelijk richt op een welbepaald segment van het Belgische binnenvaartnetwerk, namelijk het traject Antwerpen - Luik van het Albertkanaal waarvoor het model van Maraš zich uitstekend leent. Het model bepaalt voor een lineair binnenvaartnetwerk de terminals die worden aangedaan en het aantal volle en lege containers die getransporteerd worden tussen de havens onderling. Op basis van deze informatie berekent het model de opbrengsten, de optimale vaarroute en de optimale herpositionering van lege en beladen containers. Met behulp van LINGO, gespecialiseerde software voor mathematische programmering, berekent het model een optimaal resultaat op relatief korte tijd. Eveneens is het mogelijk om, mits kleine aanpassingen aan het model, een groot aantal praktische situaties te modelleren.

6.1 Algemene formulering van het model van Maraš (2008)

Het optimalisatiemodel van Maraš (2008) bevat een ontwerpmethodode voor een optimaal lineair routenetwerk voor containertransport via binnenvaart dat een herlocatie van lege containers, tussen de verschillende havens of terminals die worden aangedaan, mee in rekening brengt.

Het model optimaliseert in een lineair routenetwerk het laad- en losproces van volle en lege containers, hetgeen plaatsvindt in twee eindhavens en een aantal tussenliggende overslagterminals. Welke van deze terminals worden aangedaan door het containerschip is afhankelijk van het verwachte aantal containers die dienen verscheept te worden naar de verschillende terminals en de extra opbrengsten die deze genereren. Dit verwachte aantal wordt door de rederijen bepaald en is afhankelijk van een aantal karakteristieken zoals de opbrengst, maximale omlooptijd, de haven of terminal waar de containers dienen geladen en gelost te worden, etc., waarbij de beslissing omtrent het al dan niet transporteren van bepaalde containers in grote mate afhankelijk is van de

winstgevendheid van het transportproces. Concreet komt dit erop neer dat ladingen, komende van een bepaalde klant en die geladen worden in een zeker haven, winstgevender kunnen zijn dan ladingen afkomstig van andere klanten (Maraš, 2008). Op basis van dit mathematisch routenetwerkmodel wordt een model opgesteld dat het mogelijk maakt om na te gaan of in een gegeven situatie een optimale allocatie van lege containers wordt bekomen, rekening houdend met capaciteitsbeperkingen. Het is echter belangrijk dat er een duidelijk kostenmodel wordt weergegeven.

Indien containerrederijen de mogelijkheid hebben om meerdere schepen in te zetten in het containertransport, kan elk containerschip afzonderlijk beoordeeld worden met behulp van dit model.

6.1.1 Formulering van de doelfunctie

De eerste formulering die weergegeven wordt, is de doelfunctie van het mathematisch lineair routenetwerkmodel van Maraš (2008). Concreet komt deze doelfunctie (1) erop neer dat de totale winst, resulterend uit het transport en de herlocatie van volle en lege containers, gemaximaliseerd dient te worden. De winst wordt berekend door het verschil van de opbrengsten van het transport, de transportkosten en de kosten gerelateerd aan de herlocatie van lege containers.

De algemene formulering van de doelfunctie ziet er aldus als volgt uit:

$$\max Y = R - C - P \quad (1)$$

Waarbij:

Parameter	Betekenis
Y	<i>De totale winst resulterend uit het transport en de herlocatie van volle en lege containers (in €)</i>
R	<i>De opbrengsten (in €)</i>
C	<i>De transportkosten (in €)</i>
P	<i>De kosten gerelateerd aan de herlocatie van lege containers (in €)</i>

De opbrengsten (in €) worden bepaald door de goederentransportkosten en het aantal beladen containers die verscheept worden tussen de terminals i en j onder de veronderstelling dat de goederentransportkosten onafhankelijk zijn van de transportroute.

Uit voorgaande volgt dat de opbrengsten gedefinieerd kunnen worden als:

$$R = \sum_{i \in L} \sum_{j \in L} Z_{ij} \times p_{ij} \quad (2)$$

Waarbij:

Parameter	Betekenis
Z_{ij}	<i>Het aantal beladen containers die getransporteerd worden van een terminal met oorsprong term i naar een terminal met bestemming term j (TEU)</i>
p_{ij}	<i>De goederentransportkosten per container komende van terminal i naar terminal j (€/TEU)</i>
L	<i>De verzameling van alle terminals in het routenetwerk, waarbij ($L=1,2,\dots,n$)</i>

De totale transportkosten (in €) op een vaarroute in een binnenvaartnetwerk omvatten de tijdsgebonden huurkosten (TZ), de brandstofkosten (TG), de kosten van smering en operationeel onderhoud (TM), de kosten van containeroverslag voor beladen containers (TUI) en de kosten voor haventoeegang of havengelden (LT) zoals is overeengekomen in de lijnvaart.

De totale transportkostenfunctie kan dus als volgt geformuleerd worden:

$$C = TZ + TG + TM + LT + TUI \quad (3)$$

De tijdsgebonden huurkosten van een binnenvaartschip of duwkonvooi kunnen als volgt gedefinieerd worden:

$$TZ = tzd \times mvo \quad (4)$$

Waarbij:

Parameter	Betekenis
<i>tzd</i>	<i>De dagelijkse huurkosten van een binnenvaartschip en een aantal duwbakken (€/dag)</i>
<i>mvo</i>	<i>De maximale doorlooptijd van een route (dag)</i>

De brandstofkosten (TG) en de kosten van smering en operationeel onderhoud (TM) worden op een gelijkaardige manier berekend voor elk link tussen de havens en terminals i en j. Hieruit volgt dat:

$$TG = c_g \sum_{i \in L} \sum_{j \in L} sp_g \times N_{inst} \times vp_{ij} \quad (5)$$

$$TM = c_m \sum_{i \in L} \sum_{j \in L} sp_m \times N_{inst} \times vp_{ij} \quad (6)$$

Waarbij:

Parameter	Betekenis
<i>c_g</i>	<i>De brandstofprijs (in €/ton)</i>
<i>sp_g</i>	<i>Het specifiek brandstofverbruik (in tons/kW-h)</i>
<i>N_{inst}</i>	<i>Het motorvermogen – aandrijving (in kW)</i>
<i>vp_{ij}</i>	<i>De reistijd of transporttijd van een containerschip van haven of terminal i naar haven of terminal j (in h)</i>
<i>sp_m</i>	<i>Het specifieke gebruik van smeermiddelen voor operationeel onderhoud (in tons/kW-h)</i>
<i>c_m</i>	<i>De kostprijs van smeermiddelen (in €/ton)</i>

De kosten voor haventoeegang worden berekend op basis van de variabele x_{ij} en de bijhorende havengelden bij terminal j. De kosten voor haventoeegang worden dus bijgevolg weergegeven als:

$$LT = \sum_{i \in L} \sum_{j \in L} x_{ij} \times lt_j \quad (7)$$

Waarbij:

Parameter	Betekenis
x_{ij}	$x_{ij} = 1$, indien terminal i en j rechtstreeks met elkaar gelinkt zijn in een routenetwerk, $x_{ij} = 0$, in alle andere gevallen
It_j	De havengelden of kosten voor haventoeegang voor elke haven j die wordt aangedaan (in €)

De laatste kostencomponent voor de totale transportkosten bestaat uit de kosten van containeroverslag en -behandeling voor beladen containers. De kosten voor containeroverslag worden gedefinieerd als de som van alle behandelingskosten voor die havens of terminals die betrokken zijn bij de overslag van beladen containers.

$$TUI = \sum_{i \in L} \sum_{j \in L} Z_{ij} \times (tu_i + tj_j) \quad (8)$$

Waarbij:

Parameter	Betekenis
tu_i	De laadkosten per beladen container in terminal i (in €/TEU)
tj_j	De lossingskosten per beladen container in terminal j (in €/TEU)

In onderstaande paragraaf worden de herpositioneringskosten (P) van lege containers weergegeven.

6.1.2 Formulering van de herpositioneringskosten van lege containers

Het volume van de behandelde containers in havens en binnenvaartterminals wordt voornamelijk gekenmerkt door een aanzienlijke mate van onevenwicht tussen het aantal inkomende en uitgaande containers. Het probleem van deze (handels-)onevenwichten, waarop in paragraaf 3.1 uitvoerig werd op ingegaan, zal in de toekomst één van de belangrijkste logistieke transportproblemen blijven voor het containertransport via binnenvaart. Wel dient hier opgemerkt te worden dat deze onevenwichten tussen

inkomende en uitgaande containers groter zijn in kleinere binnenvaarthavens en terminals dan in grotere containerhavens (Notteboom en Rodrigue, 2008; Theofanis en Boile, 2008).

Deze onevenwichten brengen extra kosten met zich mee betreffende het vervoer van lege containers tussen de verschillende terminals en depots, de opslag van lege containers om aan de toekomstige transportvraag te voldoen en het huren/leasen van lege containers in geval van dringend te verwezenlijken exportladingen. De kosten van transport zijn echter in grote mate verwaarloosbaar vermits de herlocatie van containers in een binnenvaartnetwerk gebeurt met de nog resterende capaciteit van containerschepen of duwbakkonvoeien (Maraš, 2008).

Uit voorgaande blijkt duidelijk dat de kosten van de herlocatie van lege containers tot op zekere hoogte een invloed hebben op de totale transportkosten, maar dat de kosten hiervoor verwaarloosbaar zijn in vergelijking met de kosten van goederenbehandeling, opslag en verhuur. Dit komt erop neer dat de invloed van deze kosten niet significant is op de totale herpositioneringskosten van lege containers.

Vervolgens kunnen de kosten van de opslag en het vervoer van lege containers (P_{sz}) als volgt gedefinieerd worden:

$$P_{sz} = \sum_{i \in L} (ts_i \times PU_i \times tz_i \times PL_i) \quad (9)$$

Waarbij:

Parameter	Betekenis
ts_i	<i>De kosten van containeropslag in terminal i (in €/TEU)</i>
tz_i	<i>De kosten van korte termijn huren/leasen van containers in terminal i (in €/TEU)</i>
PL_i	<i>Het aantal gehuurde containers in terminal i (in TEU)</i>
PU_i	<i>Het aantal opgeslagen containers in terminal i (in TEU)</i>

De kosten voor containeroverslag en -behandeling van lege containers (P_{pr}) worden gedefinieerd als de som van alle behandelingskosten voor die havens of terminals die

betrokken zijn bij de overslag en behandeling van lege containers en worden als volgt berekend:

$$P_{pr} = \sum_{i \in L} \sum_{j \in L} W_{ij} \times (tup_i + tip_j) \quad (10)$$

Waarbij:

Parameter	Betekenis
W_{ij}	<i>Het aantal lege containers die getransporteerd worden van terminal i naar terminal j (TEU)</i>
tup_i	<i>De laadkosten per lege container in terminal i (in \$/TEU)</i>
tip_j	<i>De lossingskosten per lege container in terminal j (in \$/TEU)</i>

Op basis van de kosten van de opslag en het vervoer van lege containers (P_{sz}) en de kosten voor containeroverslag en -behandeling van lege containers (P_{pr}) kunnen de kosten gerelateerd aan de herlocatie van lege containers als volgt geformuleerd worden:

$$P = P_{sz} + P_{pr} \quad (11)$$

In de volgende paragraaf worden een aantal beperkingen geformuleerd met betrekking op het mathematisch lineair routenetwerkmodel van Maraš (2008).

6.1.3 Formulering van de beperkingen

Beladen containers dienen getransporteerd te worden tussen een terminal met oorsprong term i en een terminal met bestemming term j, indien deze terminals worden aangedaan in het optimale routenetwerk van het containerschip. Het optimale routenetwerk kan bestaan uit het aandoen van elke terminal in het binnenvaartnetwerk of slechts een aantal tussenliggende terminals. Indien het aandoen van herkomst- of bestemmingsterminals van containers niet tot het optimale vaarroutenetwerk behoren, kunnen deze containers niet getransporteerd worden.

Deze voorwaarde kan uitgedrukt worden door het definiëren van twee sets van beperkingen voor het bepalen van het aantal getransporteerde containers op elk segment van de route.

Het vertrek van een schip vanuit een haven of terminal, geladen met zowel lege als volle containers, word gemodelleerd door een eerste set van beperkingen (12 t.e.m. 15), terwijl de aankomst van een schip wordt weergegeven door de beperkingen 16 t.e.m. 19.

Verder wordt er bij elk van deze beperkingen rekening gehouden met de vaarrichting van de schepen die ofwel stroomopwaarts ofwel stroomafwaarts is.

6.1.3.1 Vertrek van een schip vanuit elke haven op het routenetwerk

i. Stroomopwaarts

$$\text{Volle Containers} \quad Z_{ij} \leq pk_{ij} \sum_{q=i+1}^j x_{iq} \quad i=1,2,\dots,n-1 \quad j=i+1,\dots,n \quad (12)$$

$$\text{Lege Containers} \quad W_{ij} \leq prk_{ij} \sum_{q=i+1}^j x_{iq} \quad i=1,2,\dots,n-1 \quad j=i+1,\dots,n \quad (13)$$

ii. Stroomafwaarts

$$\text{Volle Containers} \quad Z_{ij} \leq pk_{ij} \sum_{q=j}^{i-1} x_{iq} \quad i=2,\dots,n \quad j=1,\dots,i-1 \quad (14)$$

$$\text{Lege Containers} \quad W_{ij} \leq prk_{ij} \sum_{q=j}^{i-1} x_{iq} \quad i=2,\dots,n \quad j=1,\dots,i-1 \quad (15)$$

Waarbij:

Parameter	Betekenis
pk_{ij}	Het verwacht aantal beladen containers die beschikbaar zijn voor transport tussen terminal i en j (in TEU)

prk_{ij}	<i>Het verwacht aantal lege containers die beschikbaar zijn voor transport tussen terminal i en j (in TEU)</i>
------------------------------	--

Beperking (12) geeft weer dat het aantal beladen containers die getransporteerd worden van terminal i naar terminal j, kleiner of gelijk moeten zijn aan het product van het verwacht aantal beladen containers die beschikbaar zijn voor transport tussen terminal i en j en de variabele x_{ij} . Deze beslissingsvariabele x_{ij} definieert dat er enkel containers tussen i en j kunnen worden getransporteerd als we terminal i aandoen op het routenetwerk en vervolgens j of een terminal tussen i en j. De hieropvolgende beperkingen (13 t.e.m. 15) zijn op analoge wijze opgebouwd en worden op vergelijkbare wijze gedefinieerd.

6.1.3.2 Aankomst van een schip vanuit elke haven op het routenetwerk

i. Stroomopwaarts

$$\text{Volle Containers} \quad Z_{ij} \leq pk_{ij} \sum_{q=i}^{j-1} x_{qj} \quad i=1,2,\dots,n-1 \quad j=i+1,\dots,n \quad (16)$$

$$\text{Lege Containers} \quad W_{ij} \leq prk_{ij} \sum_{q=i}^{j-1} x_{qj} \quad i=1,2,\dots,n-1 \quad j=i+1,\dots,n \quad (17)$$

ii. Stroomafwaarts

$$\text{Volle Containers} \quad Z_{ij} \leq pk_{ij} \sum_{q=j+1}^i x_{qj} \quad i=2,\dots,n \quad j=1,\dots,i-1 \quad (18)$$

$$\text{Lege Containers} \quad W_{ij} \leq prk_{ij} \sum_{q=j+1}^i x_{qj} \quad i=2,\dots,n \quad j=1,\dots,i-1 \quad (19)$$

Beperking (16) geeft weer dat het aantal beladen containers die getransporteerd worden van terminal i naar terminal j, kleiner of gelijk moeten zijn aan het product van het verwacht aantal beladen containers die beschikbaar zijn voor transport tussen terminal i en j en de variabele x_{ij} . Deze beslissingsvariabele x_{ij} definieert dat er enkel containers tussen i en j kunnen worden getransporteerd als we terminal i aandoen

op het routenetwerk en vervolgens een terminal tussen i en j . De hieropvolgende beperkingen (17 t.e.m. 19) zijn op gelijkaardige wijze gedefinieerd.

6.1.3.3 Capaciteitsbeperkingen van een schip op elke link van het routenetwerk

Bij het totaal aantal te transporteren lege en volle containers tussen de terminals is het belangrijk dat de capaciteit van het schip of duwbak niet overschreden wordt op elke link van het vaarroutenetwerk. Beperking (20) stelt dan ook dat de som van het aantal beladen en lege containers die getransporteerd worden van terminal i naar terminal j , kleiner of gelijk moet zijn dan de som van de capaciteit van het schip. Het laatste gedeelte van het rechterlid in beperking (20) zorgt ervoor dat deze beperking enkel bindend is wanneer $x_{ij}=1$. Beperking (21) is op analoge wijze opgebouwd en word op vergelijkbare wijze gedefinieerd.

i. Stroomopwaarts

$$\sum_{q=1}^i \sum_{s=j}^n (Z_{qs} + W_{qs}) \leq CAP + M(1 - x_{ij}) \quad i=1,2,\dots,n-1 \quad j=i+1,\dots,n \quad (20)$$

ii. Stroomafwaarts

$$\sum_{q=i}^n \sum_{s=1}^j (Z_{qs} + W_{qs}) \leq CAP + M(1 - x_{ij}) \quad i=2,\dots,n \quad j=1,\dots,i-1 \quad (21)$$

Waarbij:

Parameter	Betekenis
CAP	<i>Het totale laadvermogen (in TEU)</i>
M	<i>Een vooraf gedefinieerd 'groot' getal</i>

De capaciteit van een binnenvaartschip is een belangrijke factor in het bepalen van het aantal containers die getransporteerd kunnen worden. Door gebruik te maken van duwbakken vergroot de capaciteit en dus ook het maximaal te vervoeren TEU. Het optimaal aantal duwbakken dat kan ingezet worden, in combinatie met een duw- of

binnenvaartschip, is afhankelijk van het motorvermogen, de weerstand, het navigatievermogen, etc.

Dit veronderstelt dat het optimaal aantal duwbakken in een duwkonvooi bepaald is tijdens het ontwerpproces van een duw- of binnenvaartschip, waardoor het totale laadvermogen gedefinieerd wordt als volgt:

$$CAP = cmp + pb \times cpb \quad (22)$$

Waarbij:

Parameter	Betekenis
<i>cmp</i>	<i>Het laadvermogen van een duw- of binnenvaartschip (in TEU)</i>
<i>pb</i>	<i>Het optimaal aantal duwbakken in een duwkonvooi</i>
<i>cpb</i>	<i>Het laadvermogen van een duwbak (in TEU)</i>

Het aantal containers dat opgeslagen wordt in elke terminal (PU_i) en het aantal containers dat geleased wordt in elke terminal (PL_i) wordt gedefinieerd met behulp van volgende uitdrukkingen:

$$E_i = \max \{P_i - D_i, 0\} \quad (23)$$

$$S_i = \max \{D_i - P_i, 0\} \quad (24)$$

$$PL_i = S_i - \sum_{j \in L} W_{ji} \quad (25)$$

$$PU_i = E_i - \sum_{j \in L} W_{ij} \quad (26)$$

Waarbij:

Parameter	Betekenis
S_i	<i>Het tekort aan containers in elke terminal i (in TEU)</i>
E_i	<i>Het aantal overtollige containers in elke terminal i (in TEU)</i>
P_i	<i>Het aantal containers die bestemd zijn voor terminal i (in TEU)</i>

D_i	<i>Het aantal containers die vertrekken vanuit terminal i (in TEU)</i>
-------	--

Bij het proces van het definiëren van de optimale reisroute voor een binnenschip zijn er aantal voorwaarden die moeten worden vervuld, onder andere de restrictie van het al dan niet aandoen van een terminal op het vaarroutenetwerk. Het bepalen van een route gebeurt op een zodanige wijze dat een schip zijn reisroute steeds start in de haven met het laagst nummer ($n=1$; zeehaven), vervolgens zijn reisroute verder zet naar de haven of terminal met het hoogste nummer (n) van waaruit een trip in de tegenovergestelde richting wordt gerealiseerd die wederom eindigt in de haven met het laagste nummer. Zowel stroomopwaarts als -afwaarts kan het schip tussenliggende terminals aandoen op het routenetwerk die gelegen zijn tussen haven 1 en n . Bovenstaande voorwaarden kunnen als volgt worden gemodelleerd:

$$\sum_{j=2}^n x_{1j} = 1 \quad (27)$$

$$\sum_{i=2}^n x_{i1} = 1 \quad (28)$$

$$\sum_{i=1}^{q-1} x_{iq} - \sum_{j=q+1}^n x_{qj} = 0 \quad q=2, \dots, n-1 \quad (29)$$

$$\sum_{i=q+1}^n x_{iq} - \sum_{j=1}^{q-1} x_{qj} = 0 \quad q=2, \dots, n-1 \quad (30)$$

De omlooptijd (in uren) van een schip (VO) in een routenetwerk kan berekend worden als de som van de totale reisduur (UVP), de behandelingstijd van zowel volle (VUP) als lege (VUPR) containers in terminals of havens en de tijd dat een schip nodig heeft om de haven binnen te komen en te verlaten (VUI).

Er zijn echter een aantal parameters zoals de bedieningsfrequentie van zeeschepen, de lengte en transportafstand van het binnenvaartnetwerk, de stroomopwaartse en stroomafwaartse snelheid van schepen, het aantal te laden en lossen containers in terminals en het aantal sluizen in het binnenvaartnetwerk, die de maximale omlooptijd van een schip (mvo) danig beïnvloeden. Op gelijkaardige wijze en op basis van dezelfde parameters kan ook de minimale omlooptijd van een schip (mnvo) in een binnenvaartnetwerk bepaald worden.

Bijgevolg kan de omloopstijd van een schip in een routenetwerk als volgt gedefinieerd worden:

$$VO = UVP + VUP + VUPR + VUI \quad \text{waarbij} \quad mnvo \leq \frac{VO}{24} \leq mvo \quad (31)$$

De reisduur op elk segment van de route wordt berekend door:

i. *Stroomopwaarts*

$$\left(\frac{l_{ij}}{v_1} + lock_{ij} + border_{ij} \right) \times x_{ij} = vp_{ij} \quad \forall j > i \quad j, i \in L \quad (32)$$

ii. *Stroomafwaarts*

$$\left(\frac{l_{ij}}{v_2} + lock_{ij} + border_{ij} \right) \times x_{ij} = vp_{ij} \quad \forall i > j \quad j, i \in L \quad (33)$$

Waarbij:

Parameter	Betekenis
v_1	<i>De stroomopwaartse snelheid van een duw- of binnenvaartschip (in km/h)</i>
v_2	<i>De stroomafwaartse snelheid van een duw- of binnenvaartschip (in km/h)</i>
$lock_{ij}$	<i>De totale benodigde tijd om een schip te versluizen in elke sluis tussen terminal i en j (in uren)</i>
$border_{ij}$	<i>De totale benodigde tijd bij grensovergangen en douane (in uren)</i>

Rekening houdend met voorgaande beperkingen (32 en 33) kunnen we de totale reisduur (in uren) formuleren als volgt:

$$UVP = \sum_{i \in L} \sum_{j \in L} vp_{ij} \quad (34)$$

Daar het aantal beladen containers getransporteerd dient te worden van een herkomsthaven naar een bestemmingshaven kan de totale behandelingstijd voor beladen containers berekend worden door:

$$VUP = \sum_{i \in L} \sum_{j \in L} Z_{ij} \times (up_i \times ip_j) \quad \text{waarbij } Z_{ij} > 0 \quad (35)$$

Waarbij:

Parameter	Betekenis
up_i	<i>De gemiddelde tijd voor het laden van een volle container in terminal i (in u/TEU)</i>
ip_j	<i>De gemiddelde tijd voor het lossen van een volle container in terminal j (in u/TEU)</i>

De totale behandelingstijd van lege containers kan op analoge wijze gedefinieerd worden:

$$VUPR = \sum_{i \in L} \sum_{j \in L} W_{ij} \times (upr_i \times ipr_j) \quad \text{waarbij } W_{ij} > 0 \quad (36)$$

Waarbij:

Parameter	Betekenis
upr_i	<i>De gemiddelde tijd voor het laden van een lege container in terminal i (in u/TEU)</i>
ipr_j	<i>De gemiddelde tijd voor het lossen van een lege container in terminal j (in u/TEU)</i>

De totale tijd dat een schip de haven of terminal binnenkomt en weer verlaat, kan voor elk netwerksegment worden weergegeven als volgt:

$$VUI = \sum_{i \in L} \sum_{j \in L} x_{ij} \times (vi_i \times vu_j) \quad (37)$$

Waarbij:

Parameter	Betekenis
vi_i	<i>De afwachtingstijd voor aankomst in terminal i (in uren)</i>
vu_j	<i>De afwachtingstijd voor vertrek in terminal j (in uren)</i>

6.1.4 Veronderstellingen model Maraš

Voordat we overgaan tot een eigenlijke toepassing van het optimalisatiemodel van Maraš (2008) op een praktijkprobleem, is het noodzakelijk om een aantal veronderstellingen te maken.

- Een rederij of chartermaatschappij wil een duw- of binnenvaartschip huren voor een periode van één of meerdere jaren voor het opzetten van een containerdienst in een vaarroutenetwerk.
- Een vaarroutenetwerk wordt gekenmerkt door één zeehaven en een aantal overslagterminals langsheen het binnenvaartnetwerk.
- De binnenvaartroute van een containerschip wordt geacht overeen te stemmen met deze van een feeder-containerdienst zodat begin- en eindpunt steeds dezelfde zijn. In dit geval wordt de zeehaven als hub beschouwd, m.a.w. het begin- en eindpunt van de feederdienst.
- Een container- of duwschip vaart stroomopwaarts vanaf het beginpunt, zijnde de zeehaven, naar zijn eindpunt, vanwaar een trip in de tegenovergestelde richting op dezelfde zeehaven wordt aangedaan.
- In sommige gevallen is het niet winstgevend om elke terminal in het binnenvaartnetwerk aan te doen.
- Het model gaat uit van een wekelijks bekende containerlading naar elk herkomst-bestemmingspaar (HB-relatie). Deze aanname is geldig omdat data betreffende

de doorvoer van containers van een voorgaande periode en toekomstige voorspellingen een betrouwbare schatting leveren.

- Het aantal terminals die in stroomopwaartse richting worden aangedaan zijn niet steeds dezelfde als deze die in stroomafwaartse richting worden aangedaan.
- Wanneer er een onvoldoende aantal containers niet beschikbaar is in een haven of terminal, dient men het tekort aan containers te leasen voor een korte termijn.

6.2 Uitwerking optimalisatiemodel Maraš met behulp van Lingo

Het softwareprogramma LINGO is ontwikkeld om wiskundige programmeringsmodellen op een gemakkelijke en efficiënte manier op te bouwen en op te lossen. Het optimalisatiemodel van Maraš werd omgezet in de LINGO modelleringstaal en op specifieke punten aangepast voor de uitwerking van het praktijkonderzoek (zie paragraaf 7) om zo de meest optimale oplossingen te bekomen.

Het uitgewerkt LINGO-model, zoals gebruikt in het praktijkonderzoek, is weergegeven in appendix 1.

7 Praktijkonderzoek

In dit hoofdstuk van deze eindverhandeling wordt het praktijkonderzoek beschreven waarin aan de hand van informatie over het Belgische binnenvaartnetwerk een aantal aannames en hypothesen worden getoetst met betrekking tot containertransport per binnenschip.

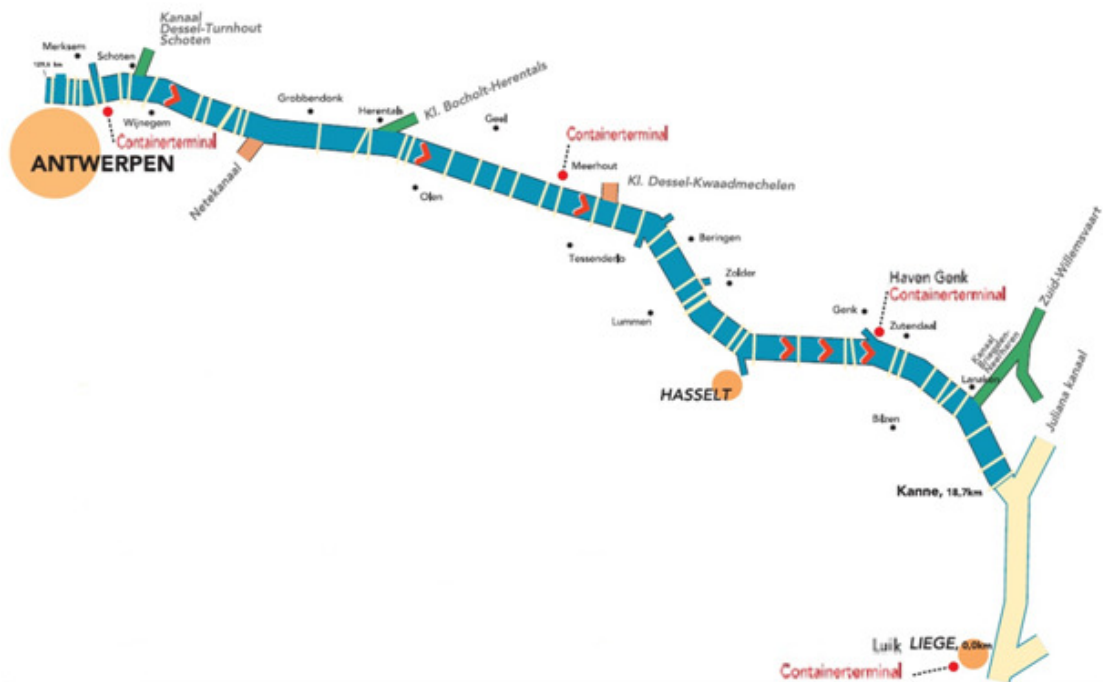
Wegens de minimale respons omtrent containertrafieken en transport in het Belgische binnenvaartnetwerk was het niet mogelijk om hiervan een realistisch beeld te schetsen. Met de schaarse data die voor handen was, is er getracht een zo goed mogelijke representatie te maken. De nadruk ligt in dit onderzoek vooral op het testen van een aantal hypothesen die een verandering in een aantal parameters teweeg kunnen brengen dan louter een modelmatige benadering te geven van de huidige containertrafieken in het Belgische binnenvaartnetwerk.

7.1 Afbakening van het onderzoek

Bij het opstellen van het onderzoek leek het gepast om het model van Maraš, zoals besproken in paragraaf 6.1, te toetsen in de context van de Belgische binnenvaart. Dankzij zijn uitgestrekte netwerk aan snelwegen, waterwegen en spoorwegen en zijn centrale ligging in Benelux en West-Europa, is België rechtstreeks verbonden met alle Europese consumptie- en productiecentra en vormt het de ideale uitvalsbasis voor Europese distributie.

In tegenstelling tot transport via weg en het spoor, hebben de Belgische binnenwateren nog een aanzienlijke reservecapaciteit. Eveneens is het uitdijende netwerk van binnenlandse containerterminals, zowel in België als in de buurlanden, een andere belangrijke groeimotor voor goederenvervoer via binnenvaart en multimodaal transport. Door zijn competitiviteit met het vrachtverkeer op middellange afstand of in uitzonderlijke gevallen op korte afstand (15 tot 60km), maakt de binnenvaart onlosmakelijk deel uit van de intermodale transportketen (Haven van Antwerpen, 2008). Het is logisch dat het aandeel van de Belgische binnenvaart in het getransporteerde goederenvolume groeit in sneltempo, met de containertrafiek die het voortouw neemt (Binnenvaart België, n.d.).

Vermits het model van Maraš (2008) enkel kan toegepast worden op een lineair routevaartnetwerk en wegens de beperkte informatie omtrent containertrafieken is het niet mogelijk om het gehele Belgische binnenvaartnetwerk te representeren. In het onderzoek is er geopteerd om één van de belangrijkste verbindingen van dit binnenvaartnetwerk te bespreken, zijnde het Albertkanaal dat de haven van Antwerpen verbindt met Luik.



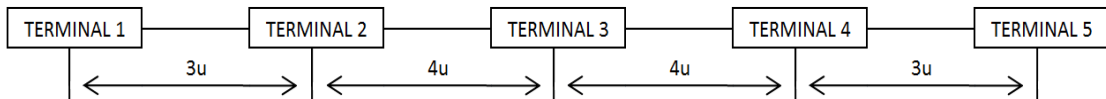
FIGUUR 7-1. LOCATIE VAN DE MULTIMODALE TERMINALS OP DE AS ANTWERPEN-LUIK VAN HET ALBERTKANAAL (MIRA OP BASIS VAN GEGEVENS VAN VUB - DATA VAN TRW, IFB, PROMOTIE BINNENVAART VLAANDEREN EN INDIVIDUELE TERMINALS, 2007).

Langsheen deze as hebben zich doorheen de jaren een aantal multimodale terminals gevestigd: Manuport Container Terminal te Antwerpen, Gosselin Container Terminal te Deurne, Water Container Terminal te Meerhout, nv Haven Genk te Genk en Terminal ECE-Renory te Luik (zie bovenstaande figuur 7-1). Het praktijkonderzoek zal zich dus oriënteren op deze vijf voorgenoemde overslagterminals langsheen de as Antwerpen-Luik van het Albertkanaal.

7.2 Data

In deze paragraaf wordt de data van het basisscenario besproken die nodig is om uitgewerkte LINGO-model, zoals gebruikt in dit praktijkonderzoek, te laten runnen.

Zoals reeds aangehaald kan een containerschip op zijn vaarroute vijf terminals aandoen (m.a.w. $n=5$), waarbij terminal 1 zowel het start- als eindpunt vormt van het routenetwerk en de terminals 2 tot en met 5 landinwaarts gelegen zijn langsheen de binnenvaartroute. Onderstaande figuur (figuur 7-2) geeft het terminalnetwerk weer op de as Antwerpen-Luik van het Albertkanaal met bijhorende vaartijd ten opzichte van terminal 1. Terminal 1 vertegenwoordigt in het onderzoek de Manuport Container Terminal te Antwerpen terwijl terminal 2 tot en met 5 respectievelijk Gosselin Container Terminal te Deurne, Water Container Terminal te Meerhout, nv Haven Genk te Genk en Terminal ECE-Renory te Luik vertegenwoordigen.



FIGUUR 7-2. GRAFISCHE VOORSTELLING VAN HET TERMINALNETWERK OP DE AS ANTWERPEN-LUIK VAN HET ALBERTKANAAL MET BIJHORENDE VAAARTIJD TEN OPZICHT VAN TERMINAL 1.

Het verwacht aantal geladen en lege containers beschikbaar voor transport tussen de terminals i en j over een vooraf vastgestelde omlooptijd van 4 dagen wordt, voor het basisscenario, weergegeven in tabel 7-1. De waarden voor het verwacht aantal geladen containers (pk_{ij}), beschikbaar voor transport tussen de verschillende terminals, zijn gebaseerd op de werkelijke trafieken maar werden vervolgens willekeurig naar grootteorde gekozen met het oog op betere resultaten te bekomen. Met name werd een invulling gegeven voor de containertrafieken tussen de terminals van Deurne, Meerhout, Genk en Luik onderling, dewelke niet rendabel zijn en dus in de praktijk niet voorkomen. De waarden voor het verwacht aantal lege containers (prk_{ij}), beschikbaar voor transport tussen de verschillende terminals, werden echter niet bekomen en werden gelijkgesteld aan de maximale capaciteit van het binnenvaartschip of duwkonvooi dat instaat voor het transport. In deze praktijkstudie betreft het een binnenvaartschip in combinatie met een duwbak die samen een maximale capaciteit van 195 TEU hebben (zie tabel 7-3).

TABEL 7-1. HET VERWACHT AANTAL BELANDEN (PK_{ij}), EN LEGE CONTAINERS (PRK_{ij}), BESCHIKBAAR VOOR TRANSPORT TUSSEN DE VERSCHILLENDE TERMINALS.

Bestemming	Antwerpen		Deurne		Meerhout		Genk		Luik	
	Beladen cont.	Lege cont.	Beladen cont.	Lege cont.	Beladen cont.	Lege cont.	Beladen cont.	Lege cont.	Beladen cont.	Lege cont.
<i>Oorsprong</i>										
Antwerpen	0	195	90	195	175	195	127	195	129	195
Deurne	54	195	0	195	125	195	103	195	87	195
Meerhout	143	195	83	195	0	195	68	195	58	195
Genk	157	195	105	195	116	195	0	195	89	195
Luik	48	195	96	195	56	195	52	195	0	195

Data met betrekking tot havenactiviteiten zoals tijdparameters (vu_i , vi_i , up_i , ip_i , upr_i en ipr_i), kostparameters (lt_i , tu_i , ti_i , tup_i , ts_i en tz_i) alsook de vrachttarieven, p_{ij} , worden bepaald op basis van waarden gevonden via internet en wetenschappelijke papers en worden verondersteld als volgt: $vu_i = 0$ u; $vi_i = 0$ u; $up_i = 0,033$ u/TEU; $ip_i = 0,033$ u/TEU; $upr_i = 0,033$ u/TEU; $ipr_i = 0,033$ u/TEU; $lt_i = 0$ €; $tu_i = 0$ €/TEU; $ti_i = 0$ €/TEU; $tup_i = 0$ €/TEU; $ts_i = 4,00$ €/TEU; $tz_i = 3,60$ €/TEU (Maraš, 2008; Van Hoof, 2006; Promotie binnenvaart Vlaanderen, 2008). De vrachttarieven, p_{ij} , zijn weergegeven in onderstaande tabel 7-2 en worden uitgedrukt in (€/TEU).

Indien er geen waarden werden gevonden voor de desbetreffende parameters werden deze waarden ofwel gelijkgesteld aan de waarde 0 (vu_i , vi_i , lt_i , tu_i , ti_i , tup_i), ofwel werden ze berekend op basis van andere formules uit het model. Een voorbeeld hiervan is de vaartijd van de schepen tussen de verschillende terminals. Vermits gaan informatie werd bekomen over de totale benodigde tijd voor het versluizen van een schip, werd de vaartijd eenvoudig afgeleid uit de waarden die bekomen werden voor de vaarsnelheid en totale afstand tussen de terminals: $v_1 = 20$ km/u; $v_2 = 20$ km/u; $lock_{ij} = 0$ u (voor alle waarden i en j); $border_{ij} = 0$ u (voor alle waarden i en j).

TABEL 7-2. DE GOEDERENTRANSPORTKOSTEN PER CONTAINER KOMENDE VAN TERMINAL I NAAR TERMINAL J (€/TEU)

<i>Freight rate</i>	Antwerpen	Deurne	Meerhout	Genk	Luik
Antwerpen	0	50	70	90	120
Deurne	50	0	45	75	105
Meerhout	70	45	0	55	90
Genk	90	75	55	0	60
Luik	120	105	90	60	0

Het containertransport zelf wordt uitgevoerd door een duwkonvooi. Parameters met betrekking tot de inzet van dit duwkonvooi worden weergegeven in onderstaande tabel 7-3.

TABEL 7-3. PARAMETERS EN KARAKTERISTIEKEN VAN BINNENVAARTSCHEPEN EN DUWKONVOOIEN MET BETREKKING TOT HET PRAKTIJKONDERZOEK.

Vaartuig	Aantal eenheden	TEU	N_{inst} (kW)	v_1 (km/h)	v_2 (km/h)	tzd (€)
Binnenvaartschip type R.H.K. (Rijn-Herne-Kanaal)	1	96	1912	20	20	2100
Duwbak	1	99	-	-	-	-

De waarden van andere parameters met betrekking tot het transport van beladen en lege containers in de binnenvaart worden verondersteld als volgt: m_{vo} = 4 dagen oftewel 96u; sp_g = 200 g/kW-h (0.0002 ton/kW-h); sp_m = 4 g/kW-h (0.000004 ton/kW-h); c_g = 169,46 €/ton en c_m = 748,943 €/ton (Maraš, 2008).

7.3 Resultaten praktijkonderzoek

In onderstaande subsecties worden de resultaten besproken van de verschillende scenario's die getest worden aan de hand van het model van Maraš. Het is niet de opzet de verschillende scenario's in detail te bespreken maar wel wat de eventuele effecten en

impacten zijn op het transport van beladen en lege containers naar de verschillende terminals en of er eventuele trends merkbaar zijn.

Een eerste scenario heeft betrekking tot een procentuele daling van het verwacht aantal beladen containers vertrekkende vanuit een welbepaalde terminal (paragraaf 7.4). Het tweede scenario (paragraaf 7.5) is quasi analoog aan het voorgaande, met dat verschil dat naast het verwacht aantal beladen containers vertrekkende vanuit een welbepaalde terminal ook het verwacht aantal beladen containers toekomende in die welbepaalde terminal worden gereduceerd.

De daaropvolgende scenario's (paragraaf 7.6 en 7.7) zijn analoog aan de twee voorgaande scenario's, met dat verschil dat de omlooptijd (mvo) gereduceerd werd tot 3 dagen in plaats van 4 dagen. Vervolgens wordt er nagegaan wat de impact is van een gereduceerde omlooptijd indien het verwacht aantal beladen containers vertrekkende vanuit een welbepaalde terminal (en het verwacht aantal beladen containers toekomende in die welbepaalde terminal) gereduceerd wordt.

In een laatste scenario (paragraaf 7.8) worden de mogelijke effecten besproken van een toename van de havengelden en een toename van de wachttijd voor het binnenkomen van een terminal of haven op het transport van lege en beladen containers, wanneer de omlooptijd gereduceerd wordt tot 3 dagen.

7.4 Scenario 1 – procentuele daling van het verwacht aantal beladen containers vertrekkende vanuit een welbepaalde terminal

In het eerste scenario wordt uitgegaan van een procentuele daling van het verwacht aantal beladen containers vertrekkende vanuit een welbepaalde terminal. Deze daling bedraagt 45 respectievelijk 90 procent. De opzet van dit scenario is om een onevenwicht tussen vraag en aanbod in een terminal te gaan creëren. De resultaten hiervan worden vervolgens vergeleken ten opzichte van elkaar en ten opzichte van het basisscenario.

7.4.1 Werkwijze scenario 1

Zoals eerder weergegeven wordt in dit eerste scenario uitgegaan van een procentuele reductie van 45 en 90 procent van het verwacht aantal beladen containers vertrekkende vanuit een welbepaalde terminal. Hierbij wordt er vanuit gegaan dat er enkel een reductie plaatsvindt in het verwacht aantal beladen containers per terminal afzonderlijk.

TABEL 7-4. WERKWIJZE PROCENTUELE REDUCTIE (45% EN 90%) VAN HET VERWACHT AANTAL BELADEN CONTAINERS VERTREKKEND (PER TERMINAL AFZONDERLIJK).

	Antwerpen	Deurne	Meerhout	Genk	Luik
	Beladen cont.	Beladen cont.	Beladen cont.	Beladen cont.	Beladen cont.
Antwerpen	0	90	175	127	129
Deurne	54	0	125	103	87
Meerhout	143	83	0	68	58
Genk	157	105	116	0	89
Luik	48	96	56	52	0

Bovenstaande tabel (tabel 7-4) geeft de werkwijze weer waarop een procentuele reductie van het verwacht aantal beladen containers wordt bekomen. Elke rijwaarde, behorende tot de in beschouwing genomen terminal, wordt gereduceerd met respectievelijk 45 en 90 procent. De uitwerking van deze subscenario's en hun mogelijke effecten en trends op

het transport van beladen en lege containers naar de verschillende terminals wordt besproken in onderstaande paragraaf (§ 7.4.2).

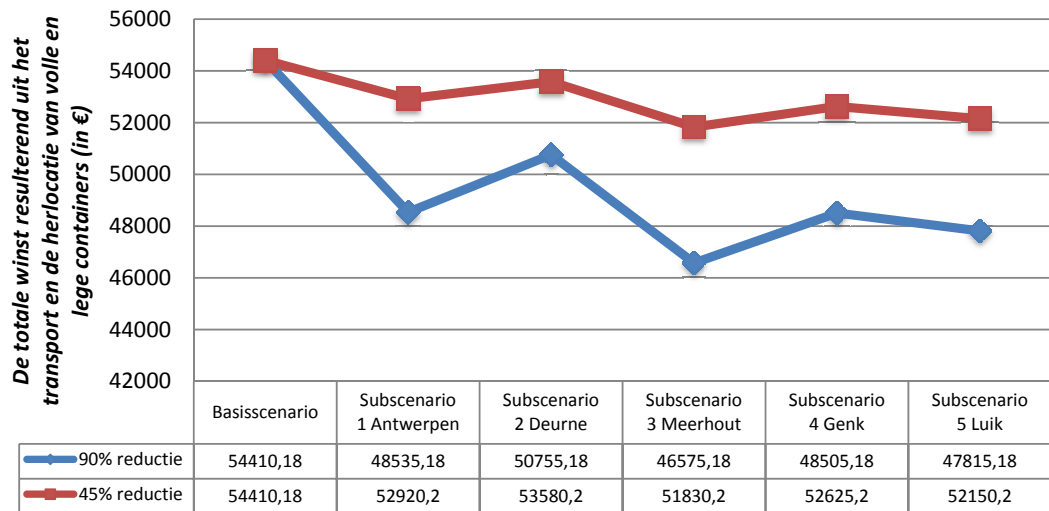
7.4.2 Bespreking resultaten scenario 1 – procentuele daling van het verwacht aantal beladen containers vertrekkende vanuit een welbepaalde terminal

De resultaten van beide scenario's zijn weergegeven in respectievelijk appendix 2 (reductie 90% - enkel vertrekkende containers) en appendix 3 (reductie 45% - enkel vertrekkende containers).

7.4.2.1 Doelfunctie

Bij een vergelijking van de doelfunctie, die streeft naar een maximalisering van de winst, valt op dat de hoogste winst wordt gegenereerd door het basisscenario. Dit is op zich niet verwonderlijk daar er in het basisscenario niet wordt uitgegaan van een procentuele reductie in het verwacht aantal te transporteren containers. Figuur 7-3 geeft de verschillende doelfuncties weer, met bijhorende kosten, voor de verschillende subscenario's en het basisscenario.

Bij het vergelijken van de doelfuncties van beide subscenario's (reductie 90% - enkel vertrekkende containers en reductie 45% - enkel vertrekkende containers) is er een duidelijke neerwaartse trend merkbaar van de doelfunctie ten opzichte van het basisscenario. Ook zien we eenzelfde patroon weerkeren in beide reducties waarbij de trendlijn bij de sterkste procentuele daling meer uitgesproken is ten opzichte van de minder sterke procentuele daling. Een verklaring waarom er zich een dalende trend voordoet in de opbrengstenfuncties van het scenario is te verklaren door het feit dat er, ten opzichte van het basisscenario, opmerkelijk minder containers worden getransporteerd in de verschillende subscenario's. De verklaring hiervoor is vrij logisch sinds in de subscenario's uitgegaan wordt van een daling in het totaal aantal te transporteren containers. Hoe minder containers er getransporteerd kunnen worden, hoe minder de opbrengsten zullen bedragen.



FIGUUR 7-3. DOELFUNCTIE WEERGEGEVEN VOOR HET BASISSCENARIO EN DE VERSCHILLENDE SUBSCENARIO'S (45% EN 90% REDUCTIE).

Om tot een mogelijke interpretatie te komen, dient de doelfunctie ontleedt te worden in al zijn componenten. Vermits de overige componenten in de doelfunctie invariabel blijven tijdens het onderzoek blijkt dat hoofdzakelijk de opbrengstencomponent (R) en de kosten gerelateerd aan de herlocatie van lege containers (P) verantwoordelijk zijn voor deze dalende trendlijn.

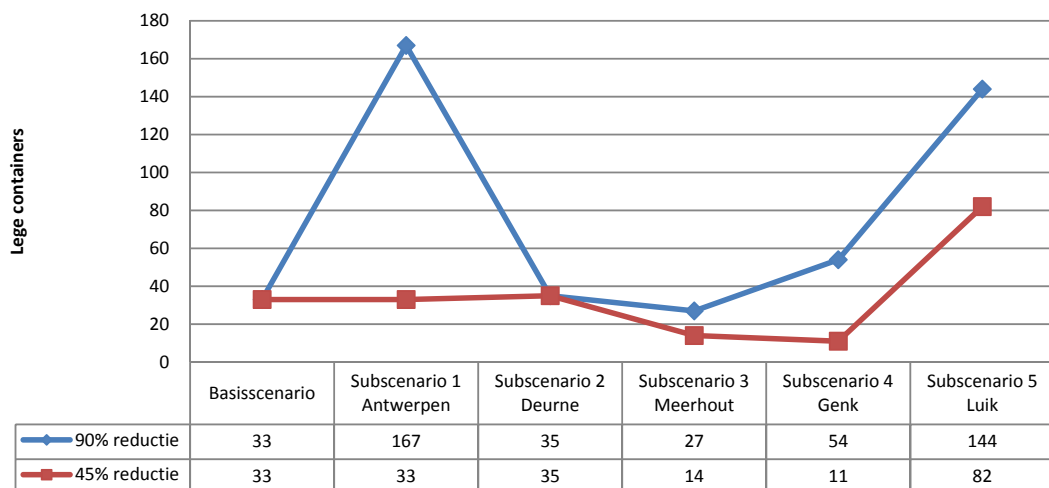
De opbrengstencomponent wordt samengesteld door het aantal beladen containers die getransporteerd worden van haven of terminal *i* naar haven of terminal *j* te vermenigvuldigen met de goederentransportkosten per container (zie paragraaf 6.1.1). De kosten gerelateerd aan de herlocatie van lege containers (P) daarentegen worden samengesteld op basis van de kosten van de opslag en het vervoer van lege containers (P_{sz}) en de kosten voor containeroverslag en -behandeling van lege containers (P_{pr}). In onderstaande subsectie wordt nagegaan of er daadwerkelijk een verband kan worden aangetoond tussen enerzijds de hierboven besproken componenten van de opbrengstenfunctie en anderzijds de resultaten van de doelfunctie, dewelke hierboven werden besproken.

7.4.2.2 Containertransport

Onderstaande secties bespreken het transport van lege en beladen containers per subscenario.

7.4.2.2.1 Lege containers

Onderstaande grafieken (figuur 7-4 en figuur 7-5) geven het totaal aantal getransporteerde lege containers weer per subscenario. Figuur 7-4 zet het aantal lege containers uit voor het basisscenario en de verschillende subscenario's, en dit zowel voor 45 respectievelijk 90 procent reductie. In figuur 7-5 wordt het aantal lege containers uitgezet ten opzichte van de 45 respectievelijk 90 procent reducties van de subscenario's.

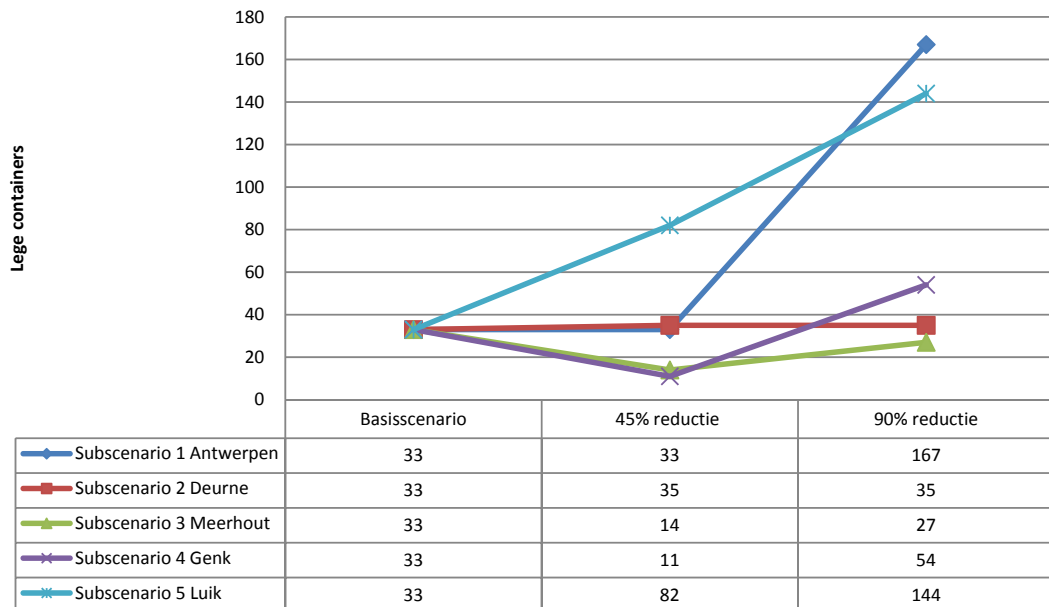


FIGUUR 7-4. TOTAAL AANTAL GETRANSPORTEERDE LEGE CONTAINERS WEERGEGEVEN VOOR HET BASISSCENARIO EN DE VERSCHILLENDE SUBSCENARIO'S (45% EN 90% REDUCTIE).

Bij een vergelijking van de resultaten in figuur 7-4 ten opzichte van het basisscenario vallen onmiddellijk twee extreme waarden op, zijnde het transport van lege containers bij een reductie (90 procent) van het verwacht aantal beladen containers voor subscenario 1 respectievelijk subscenario 5. Een mogelijke verklaring voor deze extreme waarden kan gegeven worden door het feit dat er door deze reductie een onevenwicht gaat ontstaan tussen de vraag en het aanbod naar beladen containers. Hierdoor dienen er dus meer

lege containers getransporteerd te worden om aan dezelfde vraag te voldoen. Deze onevenwichten zijn groter in die terminals waarbij zowel de vraag als het aanbod hoger is dan gemiddeld. Uit tabel 7-1 kan er duidelijk afgeleid worden dat de Manuport Container Terminal te Antwerpen een hoger dan gemiddelde vraag en aanbod heeft. Voor de Terminal ECE-Renory te Luik geldt deze stelling echter niet. Hier kan men zelfs stellen dat deze terminal een lager dan gemiddelde vraag en aanbod heeft.

Zoals te verwachten kent de 45 procent reductie curve een zo goed als analoog patroon in vergelijking met de 90 procent reductie curve, echter met uitzondering van de waarde voor subscenario 1. Opnieuw zouden we hier een extreme waarde verwachten in vergelijking met de andere waarden op de 45 procent reductie curve maar in tegenstelling tot de extreme waarde van subscenario 5 blijkt deze van subscenario 1 analoog te zijn met het basisscenario.



FIGUUR 7-5. TOTAAL AANTAL GETRANSPORTEERDE LEGE CONTAINERS WEERGEGEVEN VOOR HET BASISSCENARIO EN DE VERSCHILLENDE SUBSCENARIO'S (45% EN 90% REDUCTIE).

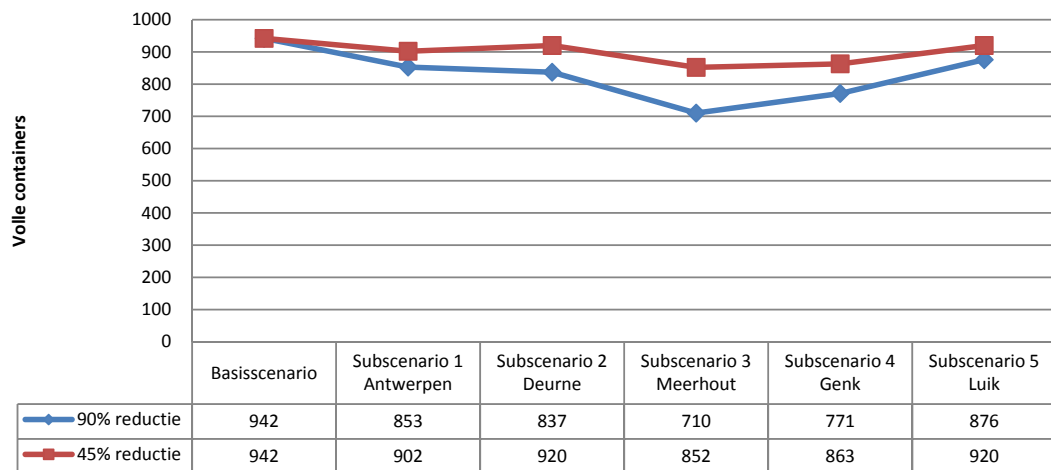
Uit figuur 7-5 blijkt dat het aantal getransporteerde lege containers in een aantal subscenario's substantieel hoger ligt in vergelijking met het basisscenario. Daar waar men in deze grafiek een lineair verband verwacht tussen de reducties en het aantal

getransporteerde lege containers, is het opmerkelijk dat er bij de 45 procent reductie in een aantal subscenario's minder lege containers worden getransporteerd ten opzichte van het basisscenario. Dit kan te maken hebben met het feit dat enkel het aantal te transporteren containers (aanbod) van een bepaalde terminal naar alle andere terminals is gereduceerd met 45 respectievelijk 90 procent en niet het aantal containers toekomend (vraag) in een bepaalde terminal. Hierdoor wordt er een onevenwicht gecreeërd tussen vraag en aanbod waardoor er dus meer lege containers getransporteerd dienen te worden om aan dezelfde vraag te voldoen.

In een volgend scenario (zie paragraaf 7.5) zal de hypothese getest worden waarbij zowel de vraag als het aanbod gelijktijdig gereduceerd worden.

7.4.2.2 Beladen containers

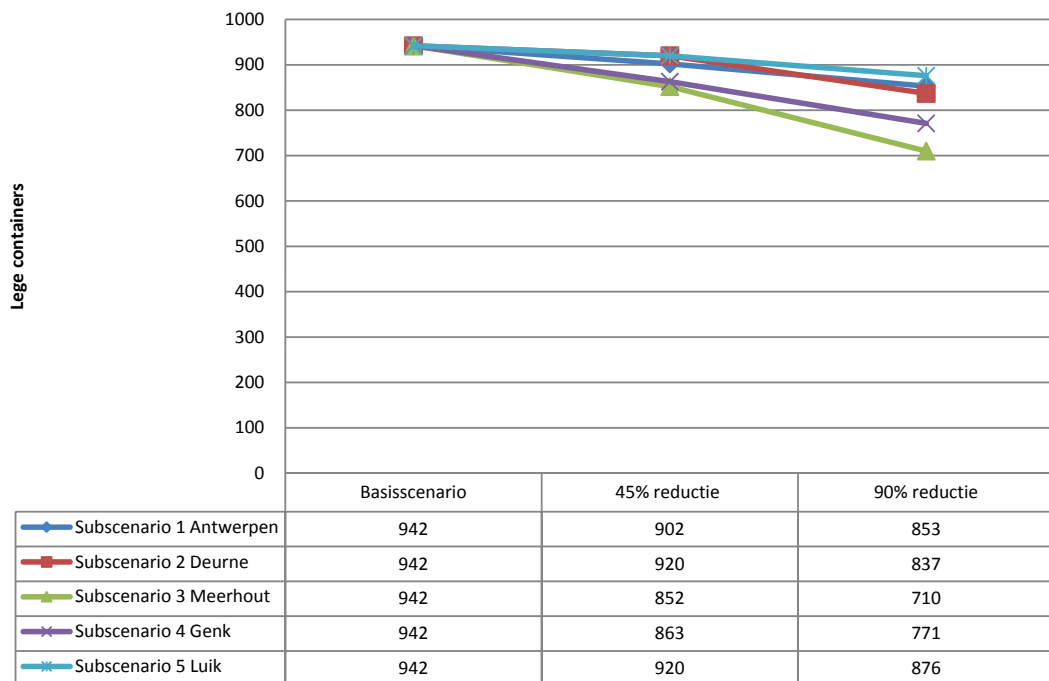
Onderstaande grafieken (figuur 7-6 en figuur 7-7) geven het totaal aantal getransporteerde beladen containers weer per subscenario. In figuur 7-6 is het aantal lege containers uitgezet voor de verschillende scenario's, waarbij het aantal lege containers in figuur 7-7 is uitgezet voor de procentuele reducties.



FIGUUR 7-6. TOTAAL AANTAL GETRANSPORTEERDE BELADEN CONTAINERS WEERGEGEVEN VOOR HET BASISSCENARIO EN DE VERSCHILLENDE SUBSCENARIO'S (45% EN 90% REDUCTIE).

Bij een vergelijking van de resultaten in figuur 7-6 ten opzichte van het basisscenario valt op dat met name de subscenario's 3 en 4 vrij lage waarden laten optekenen in vergelijking met de overige subscenario's, en dit zowel voor een reductie van 45 respectievelijk 90 procent. Verder vertonen beide subscenario's eenzelfde patroon in hun trendlijn. Een verklaring voor deze lagere waarden kan niet meteen afgeleid worden uit de resultaten.

Eveneens kan hier de opmerking gemaakt worden dat het aantal getransporteerde volle containers substantieel lager ligt in vergelijking met het basisscenario. Hiervoor geldt de eenvoudige redenering dat het totaal aantal geladen containers die dienen getransporteerd te worden in elk subscenario, door de procentuele reductie in het aanbod, steeds een fractie lager liggen dan in het basisscenario.



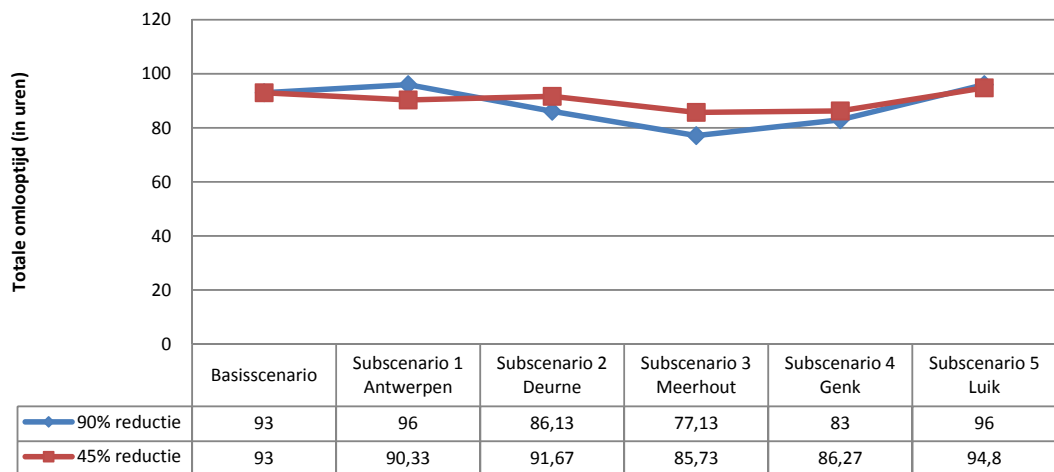
FIGUUR 7-7. TOTAAL AANTAL GETRANSPORTEERDE BELADEN CONTAINERS WEERGEGEVEN VOOR HET BASISSCENARIO EN DE VERSCHILLENDE SUBSCENARIO'S (45% EN 90% REDUCTIE).

Uit voorgaande grafieken valt af te leiden dat wanneer het aantal te transporteren beladen containers lager is in vergelijking met de overige scenario's, dit een merkbaar

negatief effect heeft op het verloop van de doelfunctie. Dit is te verklaren doordat het transport van beladen containers een belangrijke opbrengstcomponent is van de doelfunctie. Ook wanneer het aantal te transporteren lege containers hoger is dan gemiddeld heeft dit een duidelijk negatief effect op de doelfunctie. Verantwoordelijk hiervoor zijn de kosten van opslag en vervoer van lege containers en de kosten voor containeroverslag en -behandeling.

7.4.2.3 Omlooptijd

In onderstaande figuur (figuur 7-8) wordt de omlooptijd weergegeven (in uren) voor het basisscenario en de verschillende subscenario's. In het onderzoek zelf werd de maximale omlooptijd vastgesteld op 4 dagen oftewel 96 uren.



FIGUUR 7-8. TOTALE OMLOOPTIJD WEERGEGEVEN VOOR HET BASISSCENARIO DE VERSCHILLENDE SUBSCENARIO'S (45% EN 90% REDUCTIE).

Uit figuur 7-8 kunnen we afleiden dat in twee subscenario's de maximale omlooptijd werd bereikt, zijnde subscenario 1 en subscenario 5. Dit was echter enkel het geval bij een reductie van 90 procent in het verwacht aantal beladen containers. Uit deze grafiek blijkt eveneens dat de omlooptijd een belangrijke variabele is in het gehele transportproces. In een volgend scenario (zie paragraaf 7.6) zal de impact van een gereduceerde omlooptijd op het transportproces worden besproken.

7.4.2.4 Stockage en leasing

Uit het onderzoek blijkt dat er enkel voor subscenario 5 (90% reductie) containers worden geleased en gestockeerd. Met name worden in dit subscenario 25 containers geleased in de haven van Genk en worden er vervolgens 25 containers gestockeerd in de terminal van Luik. Een mogelijke verklaring hiervoor kan te maken hebben met het feit dat het, in dit specifiek geval, goedkoper is om containers te leasen en te stockeren dan het extra transporteren van deze containers. Een andere mogelijkheid kan te maken hebben met het feit dat de maximale omlooptijd in subscenario 5 reeds bereikt is en dat er geen extra containers meer getransporteerd kunnen worden.

7.4.2.5 Routing

In beide gesteste scenario's werden in zowel de heen- als retourvaart alle terminals aangedaan.

7.5 Scenario 2 – procentuele daling van het verwacht aantal beladen containers vertrekkende vanuit en toekomend in een welbepaalde terminal

Het tweede scenario is quasi analoog aan het eerste scenario, met dat verschil dat naast het verwachte aantal beladen containers vertrekkende vanuit een welbepaalde terminal ook het verwacht aantal beladen containers toekomende in die welbepaalde terminal worden gereduceerd met 45 respectievelijk 90 procent. De opzet van dit scenario is om een onevenwicht te gaan creëren tussen de vraag en het aanbod van beladen containers. De resultaten hiervan worden vervolgens vergeleken ten opzichte van elkaar en ten opzichte van het basisscenario.

7.5.1 Werkwijze scenario 2

De werkwijze bij het berekenen van de procentuele reducties in het verwacht aantal vertrekkende en toekomende containers is analoog aan scenario 1, met het grote verschil dat zowel de rijwaarde als kolomwaarde (vertrekkende en toekomende containers) worden aangepast en verminderd. Hierbij wordt er vanuit gegaan dat er enkel een reductie plaatsvindt in het verwacht aantal beladen containers per terminal afzonderlijk.

TABEL 7-5. WERKWIJZE PROCENTUELE REDUCTIE (45% EN 90%) VAN HET VERWACHT AANTAL BELADEN CONTAINERS VETREKKEND EN TOEKOMEND (PER TERMINAL AFZONDERLIJK).

	Antwerpen	Deurne	Meerhout	Genk	Luik
	Beladen cont.	Beladen cont.	Beladen cont.	Beladen cont.	Beladen cont.
Antwerpen	0	90	175	127	129
Deurne	54	0	125	103	87
Meerhout	143	83	0	68	58
Genk	157	105	116	0	89
Luik	48	96	56	52	0

Bovenstaande tabel (tabel 7-5) geeft de werkwijze weer waarop de procentuele reducties van het verwacht aantal beladen containers wordt bekomen. Elke kolom- en rijwaarde, behorende tot de in beschouwing genomen terminal, wordt gereduceerd met respectievelijk 45 en 90 procent. De uitwerking van deze subscenario's en hun mogelijke effecten en trends op het transport van beladen en lege containers naar de verschillende terminals wordt besproken in onderstaande paragraaf (§ 7.5.2).

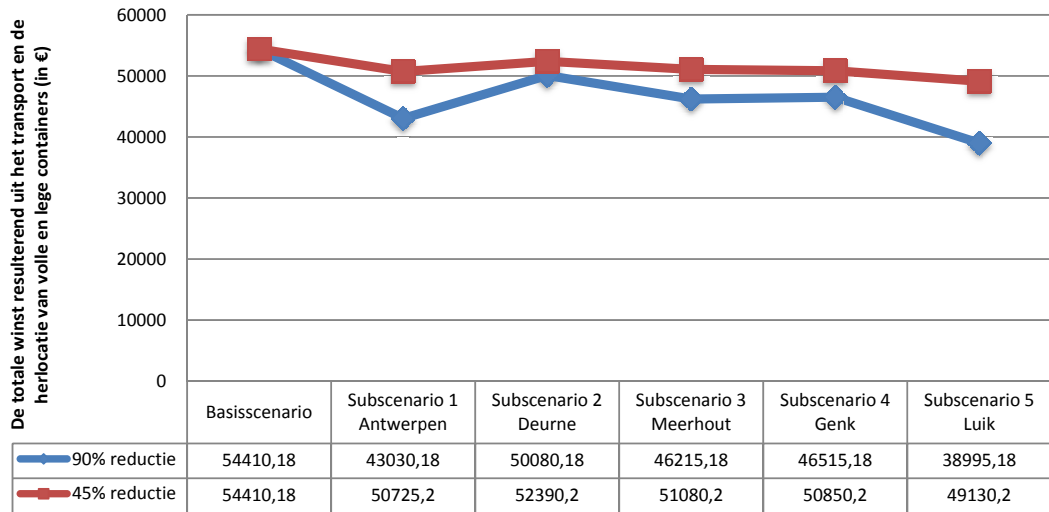
7.5.2 Bespreking resultaten scenario 2

De resultaten van beide scenario's zijn weergegeven in respectievelijk appendix 4 (reductie 90% - zowel vertrekkende als toekomstige containers) en appendix 5 (reductie 45% - zowel vertrekkende als toekomstige containers).

7.5.2.1 Doelfunctie

Wanneer we de doelfuncties van de verschillende scenario's uitzetten op een grafiek, valt meteen op dat de hoogste winst wordt gegenereerd door het basisscenario. Dit is echter te verklaren door het feit dat in het basisscenario een significant hoger aantal containers wordt getransporteerd over het routenetwerk in vergelijking met de verschillende subscenario's. Deze gaan immers allen uit van een procentuele reductie in het totaal aantal te transporteren containers wat implicaties heeft op de gemaakte winst van het subscenario. Figuur 7-9 geeft de verschillende doelfunctiewaarden weer voor de verschillende subscenario's en het basisscenario.

Bij het vergelijken van de doelfuncties van beide scenario's is er een duidelijke neerwaartse trend merkbaar van de doelfunctie ten opzichte van het basisscenario. Echter is er geen merkbaar patroon aanwezig tussen de twee geteste scenario's wat aanduidt dat er geen duidelijke relatie aanwezig is. Een verklaring waarom er zich een dalende trend voordoet in de opbrengstfuncties van het scenario is te verklaren door het feit dat er, ten opzichte van het basisscenario, opmerkelijk minder containers worden getransporteerd in de verschillende subscenario's. Er is echter geen sluitende verklaring waarom er geen eenduidige relatie aanwezig is tussen de twee geteste scenario's.



FIGUUR 7-9. DOELFUNCTIE WEERGEGEVEN VOOR HET BASISSCENARIO EN DE VERSCHILLENDE SUBSCENARIO'S (45% EN 90% REDUCTIE).

Om tot een mogelijke interpretatie te komen, dienen we de doelfunctie tot ontleden in zijn componenten, zijnde de opbrengstencomponent (R) en de kosten gerelateerd aan de herlocatie van lege containers (P). De overige componenten van de doelfunctie blijven immers invariabel tijdens het onderzoek. In paragraaf 7.4.2.1 vindt u een uitgebreide bespreking van deze componenten.

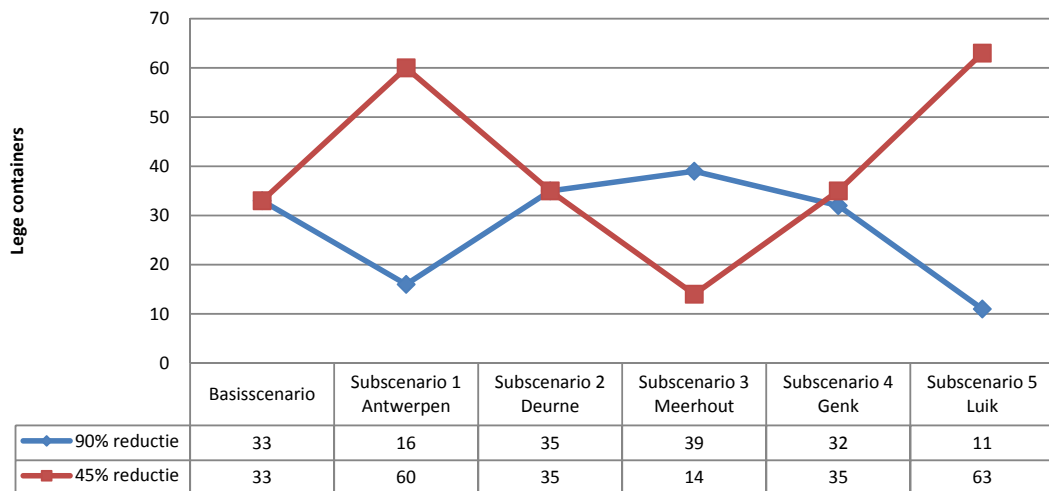
In de hieropvolgende subsecties van deze paragraaf wordt nagegaan of er een verband kan worden aangetoond tussen enerzijds de componenten van de opbrengstenfunctie en de resultaten van de doelfunctie.

7.5.2.2 Containertransport

In onderstaande secties wordt het transport van lege en beladen containers per subscenario besproken.

7.5.2.2.1 Lege containers

Onderstaande grafieken (figuur 7-10 en figuur 7-11) geven het totaal aantal getransporteerde lege containers weer per subscenario.

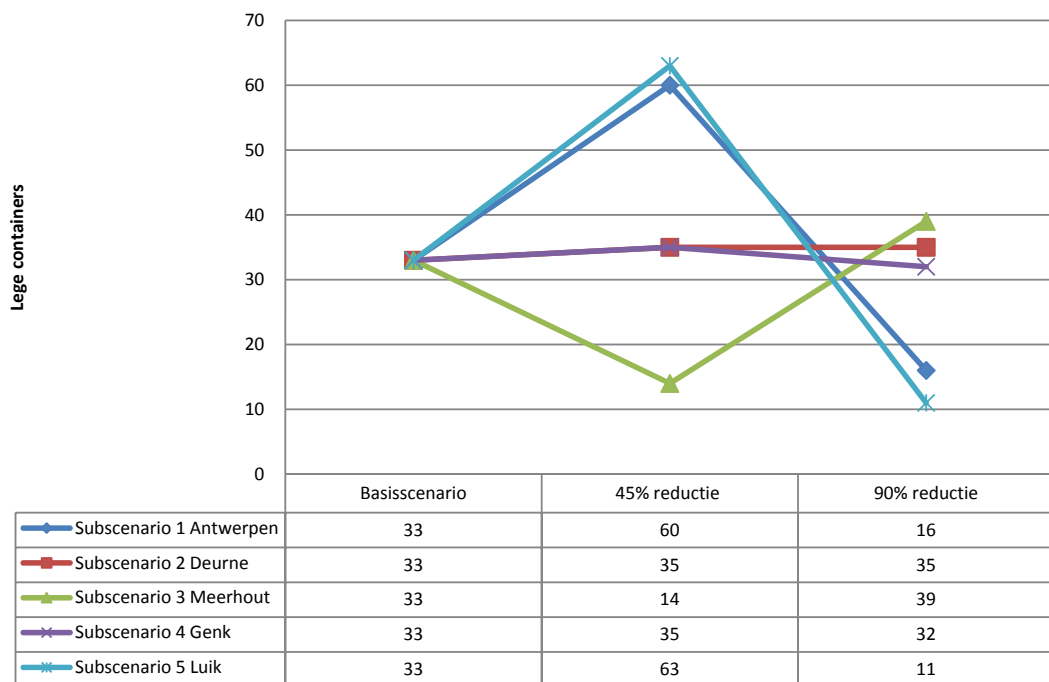


FIGUUR 7-10. TOTAAL AANTAL GETRANSPORTEERDE LEGE CONTAINERS WEERGEGEVEN VOOR HET BASISSCENARIO EN DE VERSCHILLENDE SUBSCENARIO'S (45% EN 90% REDUCTIE).

Bij een vergelijking van de resultaten in figuur 7-10 ten opzichte van het basisscenario valt meteen op dat er geen duidelijk patroon is te herkennen in het verloop van beide curves. Bij het bestuderen van de 45 procent reductie curve springen meteen drie extreme waarden in het oog, zijnde subscenario 1, subscenario 3 en subscenario 5. Echter moet deze extreme waarden met een korrel zout genomen worden, daar het verschil van deze extreme waarden ten opzichte van het basisscenario 'slechts' dertig containers bedraagt. Vergeleken met een maximale transportcapaciteit van honderdvijfennegentig TEU is dit slechts een fractie hiervan. Een mogelijke verklaring voor deze extrema's en het feit dat er geen duidelijk patroon en analogie is in het verloop van beide curves is niet meteen voorhanden.

Uit figuur 7-11 blijkt dat het aantal getransporteerde lege containers in een aantal subscenario's substantieel hoger of lager liggen in vergelijking met het basisscenario. Daar waar men in deze grafiek een lineair verband verwacht tussen de reducties en het aantal getransporteerde lege containers, is het opmerkelijk dat er bij de 45 procent

reductie in subscenario 3 minder lege containers worden getransporteerd ten opzichte van het basisscenario. Verder is het eveneens opmerkelijk dat er bij de 90 procent reductie plots een terugval is in het aantal getransporteerde lege containers voor subscenario's 1 en 4, daar waar men een lineair verband zou verwachten. Een verklaring voor deze hoeveelheid minder getransporteerde lege containers voor beide scenario's is niet meteen voorhanden.



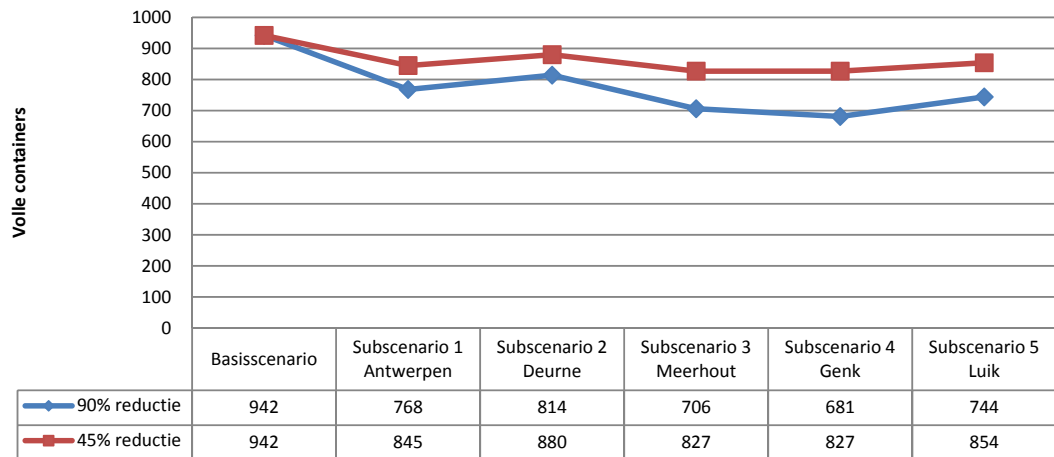
FIGUUR 7-11. TOTAAL AANTAL GETRANSPORTEERDE LEGE CONTAINERS WEERGEGEVEN VOOR HET BASISSCENARIO EN DE VERSCHILLENDE SUBSCENARIO'S (45% EN 90% REDUCTIE).

7.5.2.2.1 Beladen containers

Onderstaande grafieken (figuur 7-12 en figuur 7-13) geven het totaal aantal getransporteerde beladen containers weer per subscenario.

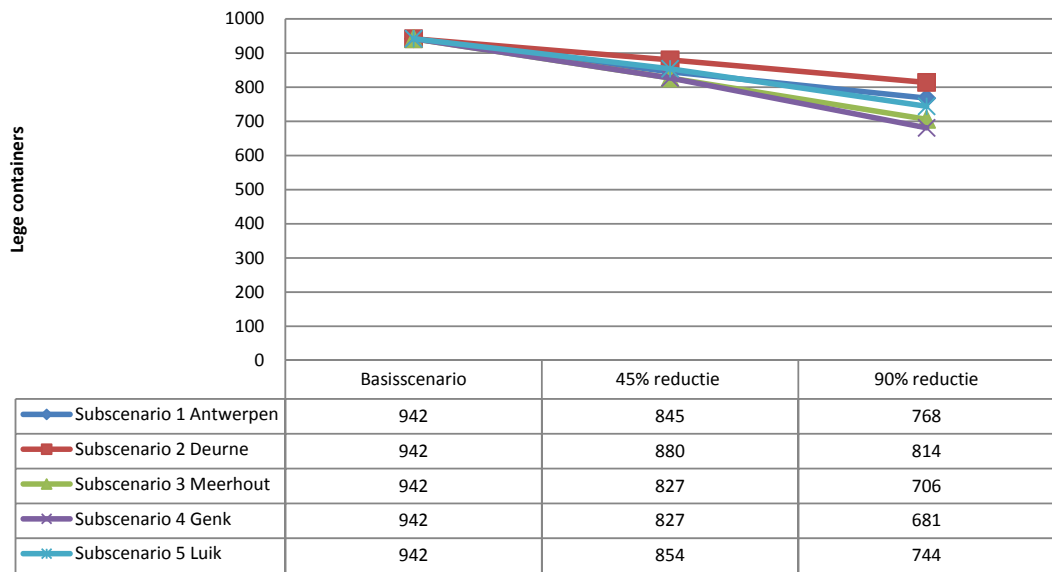
Bij een vergelijking van de resultaten ten opzichte van het basisscenario valt op dat met name de subscenario's 3 en 4 lagere waarden laten optekenen in vergelijking met de overige subscenario's, en dit zowel voor beide scenario's (45 respectievelijk 90 procent

reductie). Verder vertonen beide subscenario's eenzelfde patroon in hun verloop. Een verklaring voor deze lagere waarden kan niet meteen afgeleid worden uit de resultaten.



FIGUUR 7-12. TOTAAL AANTAL GETRANSPORTEERDE BELADEN CONTAINERS WEERGEGEVEN VOOR HET BASISSCENARIO EN DE VERSCHILLENDE SUBSCENARIO'S (45% EN 90% REDUCTIE).

Eveneens kan hier ook de opmerking gemaakt worden dat het aantal getransporteerde volle containers substantieel lager ligt in vergelijking met het basisscenario. Hiervoor geldt de eenvoudige redenering dat het totaal aantal geladen containers die dienen getransporteerd te worden in elk subscenario, door de procentuele reductie in het aanbod, steeds een fractie lager liggen dan in het basisscenario.



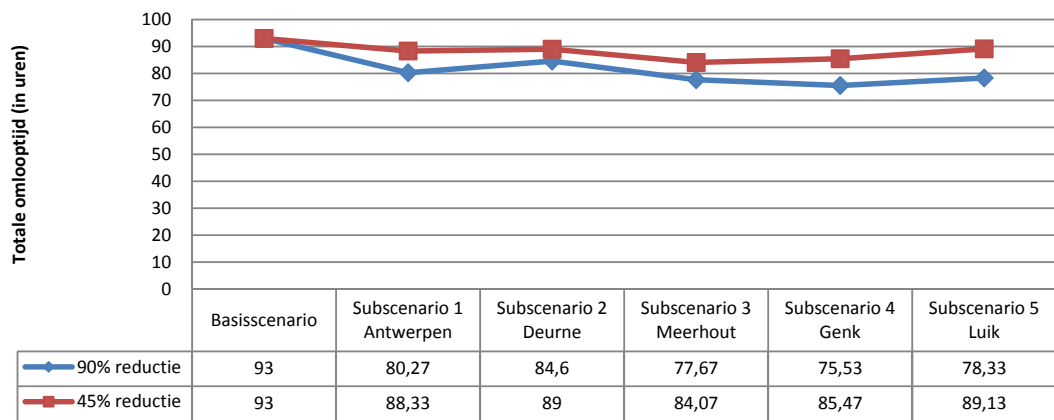
FIGUUR 7-13. TOTAAL AANTAL GETRANSPORTEERDE BELADEN CONTAINERS WEERGEGEVEN VOOR HET BASISSCENARIO EN DE VERSCHILLENDE SUBSCENARIO'S (45% EN 90% REDUCTIE).

In tegenstelling tot de resultaten van scenario 1 (zie paragraaf 7.4) valt uit bovenstaande grafieken niet af te leiden dat, wanneer het aantal te transporteren beladen containers lager is in vergelijking met de overige scenario's, dit een merkbaar negatief effect heeft op het verloop van de doelfunctie. Wanneer de doelfunctiewaarden van subscenario 1 en subscenario 5 nader worden onderzocht, blijkt dat deze de laagste opbrengsten realiseren (zowel bij een 45 respectievelijk 90 procent reductie van vraag en aanbod) terwijl er in wezen geen substantiële vermindering is in het totaal aantal te transporteren beladen containers ten opzichte van de andere subscenario's. Integendeel, in subscenario 4 worden er duidelijk minder geladen containers getransporteerd dan in voorgaande, terwijl dit geen significant negatief effect heeft op de doelfunctie. Een mogelijke verklaring hiervoor kan te wijten zijn aan de gehanteerde vrachttarieven die het in dit geval niet meer winstgevend maken om volle containers te transporteren.

7.5.2.3 Omlooptijd

In onderstaande figuur (figuur 7-14) wordt de omlooptijd weergegeven (in uren) voor het basisscenario en de verschillende subscenario's. In het onderzoek zelf werd de maximale omlooptijd vastgesteld op 4 dagen oftewel 96 uren.

Uit figuur 7-14 kunnen we afleiden dat in geen van de subscenario's de maximale omlooptijd werd bereikt en dat de omlooptijd van deze subscenario's, in vergelijking met het basisscenario, substantieel lager liggen. Dit is het geval in beide reductiecurves.



FIGUUR 7-14. TOTALE OMLOOPTIJD WEERGEGEVEN VOOR HET BASISSCENARIO DE VERSCHILLENDE SUBSCENARIO'S (45% EN 90% REDUCTIE).

7.5.2.4 Stockage en leasing

In geen van de gesteste scenario's werden containers opgeslagen of geleased.

7.5.2.5 Routing

In beide gesteste scenario's werden in zowel de heen- als retourvaart alle terminals aangedaan in opeenvolgende volgorde.

7.6 Scenario 3 - procentuele daling van het verwacht aantal beladen containers vertrekkende vanuit een welbepaalde terminal met gereduceerde omlooptijd

Het derde scenario is in grote mate analoog aan het eerste scenario, met dat verschil dat de omlooptijd (mvo) werd gereduceerd tot 3 dagen oftewel 72u in plaats 4 dagen zoals bepaald in de data input (zie paragraaf 7.2). Vervolgens wordt er nagegaan wat de impact is van een gereduceerde omlooptijd indien het verwacht aantal beladen containers vertrekkende vanuit een welbepaalde terminal gereduceerd wordt met 45 respectievelijk 90 procent. De opzet van dit scenario is om na te gaan of een gereduceerde omlooptijd een grote impact heeft op de routing in het binnenvaartnetwerk en het transport van lege en volle containers. De resultaten hiervan worden vervolgens vergeleken ten opzichte van elkaar en ten opzichte van het basisscenario.

7.6.1 Werkwijze scenario 3

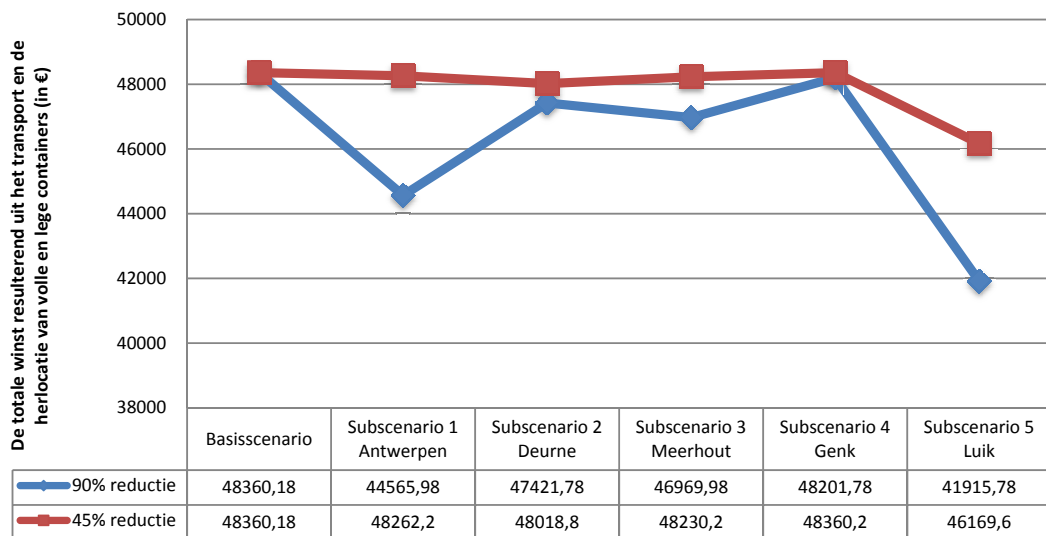
Zoals eerder weergegeven is dit eerste scenario quasi analoog aan scenario 1, met dat verschil dat de omlooptijd wordt gereduceerd tot 3 dagen oftewel 72u. Voor de werkwijze over de procentuele reductie (45 en 90 procent) van het verwacht aantal beladen containers vertrekkende vanuit een welbepaalde terminal wordt dan ook verwezen naar paragraaf 7.5.1.

7.6.2 Bespreking resultaten scenario 3

De resultaten van beide scenario's zijn weergegeven in respectievelijk appendix 6 (reductie 90% - enkel vertrekkende containers en gereduceerde omlooptijd) en appendix 7 (reductie 45% - enkel vertrekkende containers en gereduceerde omlooptijd).

7.6.2.1 Doelfunctie

Bij een vergelijking van de doelfunctie, die streeft naar een maximalisering van de winst, valt op dat de opbrengstenfunctie van de 45 procent reductie curve quasi constant verloopt voor de vijf verschillende subscenario's ten opzichte van het basisscenario. Bij een reductie van 90 procent in het verwacht aantal te transporteren containers blijkt de opbrengstencurve toch geen analoog verloop te hebben met de 45 procent reductie curve. Hier zijn de verschillen in opbrengst meer uitgesproken, voornamelijk in subscenario 1 en subscenario 5.



FIGUUR 7-15. DOELFUNCTIE WEERGEGEVEN VOOR HET BASISSCENARIO EN DE VERSCHILLENDE SUBSCENARIO'S (45% EN 90% REDUCTIE).

Om tot een mogelijke interpretatie te komen over het feit dat er geen analoog patroon bestaat tussen beide curves en dat er zich twee 'extreme' minima voordoen in de 90 procent reductie curve, is het noodzakelijk de doelfunctie te ontleden in al zijn samenstellende componenten. Vermits de overige samenstellende componenten in de doelfunctie invariabel blijven tijdens het onderzoek blijkt dat hoofdzakelijk de opbrengstencomponent (R) en de kosten gerelateerd aan de herlocatie van lege containers (P) verantwoordelijk zijn voor deze minima in de opbrengstenfunctie. In de hieropvolgende subsecties wordt nagegaan of er een verband kan worden aangetoond

tussen enerzijds de componenten van de opbrengstenfunctie en de resultaten van de doelfunctie.

7.6.2.2 Containertransport

Onderstaande secties bespreken het transport van lege en beladen containers per subscenario.

7.6.2.2.1 *Lege containers*

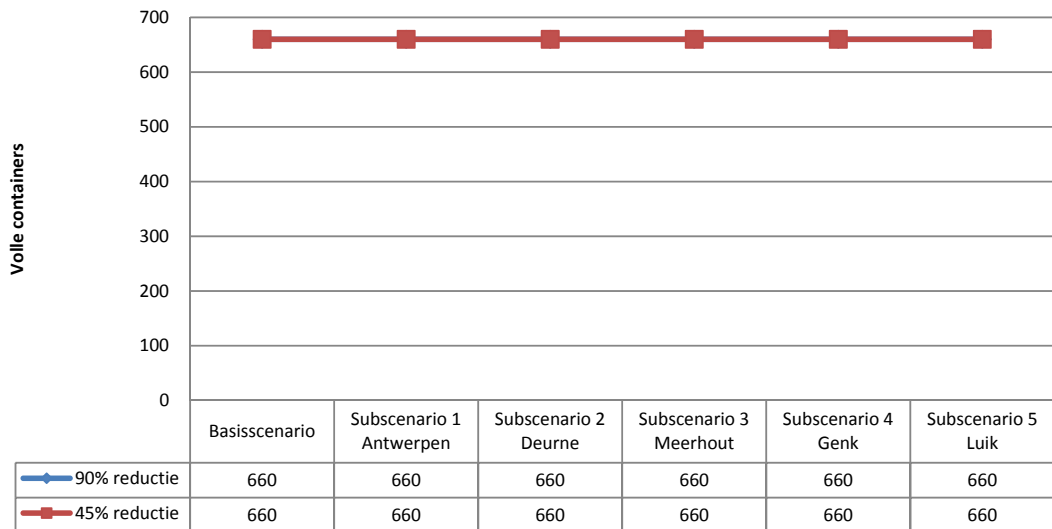
Voor de geteste scenario's worden er in geen van de verschillende subscenario's lege containers getransporteerd. Een mogelijke verklaring hiervoor is dat het leasen en stockeren van lege containers goedkoper uitkomt dan het transport en de overslag hiervan, rekening houdende met een gereduceerde omlooptijd. Vermoedelijk zal de tijdscomponent in de kostenfunctie voor containeroverslag en -behandeling van lege containers de doorslag geven waarom er geen lege containers worden overgeslagen bij een gereduceerde omlooptijd.

7.6.2.2.2 *Beladen containers*

Onderstaande grafiek (figuur 7-16) geeft het totaal aantal getransporteerde beladen containers weer voor het basisscenario en de subscenario's.

Bij een vergelijking van de resultaten ten opzichte van het basisscenario valt op dat het totaal aantal getransporteerde containers constant blijft over de verschillende subscenario's, en dit zowel voor beide reductiecurves. Normaal verwachten we dat het aantal getransporteerde volle containers substantieel lager ligt in vergelijking met het basisscenario omdat het totaal aantal geladen containers die dienen getransporteerd te worden in elk subscenario, door de procentuele reductie in het aanbod, steeds een fractie lager liggen dan in het basisscenario. Vermits er geen lege containers werden getransporteerd en vermits ook het aantal getransporteerde geladen containers constant bleef over de verschillende subscenario's, zullen de schommelingen in de doelfunctie

vermoedelijk het gevolg zijn van leasing en stockage van lege containers in de verschillende terminals. In paragraaf 7.7.2.4 wordt deze hypothese verder onderzocht.

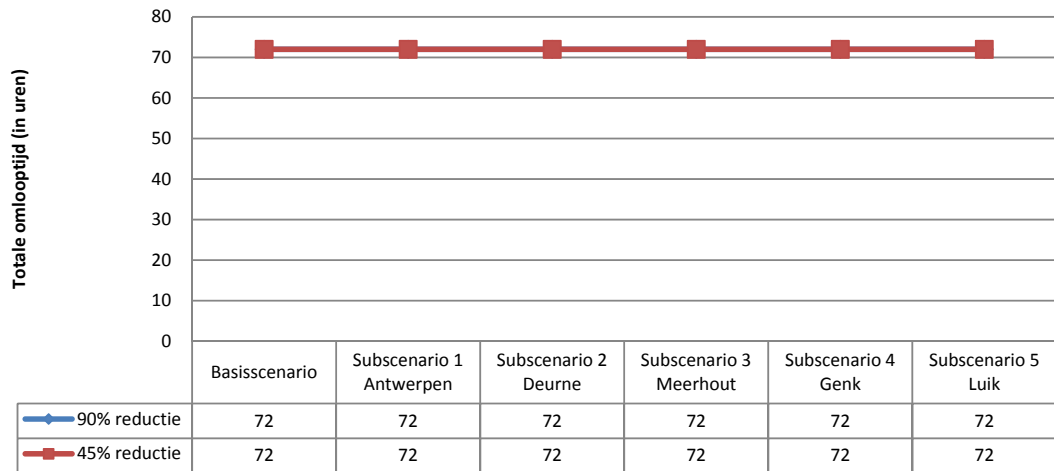


FIGUUR 7-16. TOTAAL AANTAL GETRANSPORTEERDE BELADEN CONTAINERS WEERGEGEVEN VOOR HET BASISSCENARIO EN DE VERSCHILLENDE SUBSCENARIO'S (45% EN 90% REDUCTIE).

7.6.2.3 Omlooptijd

In onderstaande figuur (figuur 7-17) wordt de omlooptijd weergegeven (in uren) voor het basisscenario en de verschillende subscenario's. In dit onderzoek zelf werd de maximale omlooptijd vastgesteld op 3 dagen oftewel 72 uren.

Uit figuur 7-17 kunnen we afleiden dat in zowel het basisscenario als in elk van de subscenario's de maximale omlooptijd werd bereikt, en dit zowel bij een reductie van 45 respectievelijk 90 procent van het verwacht aantal beladen containers vertrekkende vanuit een welbepaalde terminal. Een mogelijke verklaring dat in zowel het basisscenario als in elk van de subscenario's de maximale omlooptijd werd bereikt, kan gegeven worden door het feit dat de omlooptijd te minimaal werd gekozen waardoor niet alle beladen containers konden getransporteerd worden.



FIGUUR 7-17. TOTALE OMLOOPTIJD WEERGEGEVEN VOOR HET BASISSCENARIO DE VERSCHILLENDE SUBSCENARIO'S (45% EN 90% REDUCTIE).

7.6.2.4 Stockage en leasing

In tegenstelling tot voorgaande scenario's is er een toename van het aantal geleasede en gestockeerde lege containers, en dit in bijna alle subscenario's. Voornamelijk het aantal geleasede en gestockeerde containers in het 90 procent reductie scenario is erg uitgesproken. Een mogelijke verklaring hiervoor kan gegeven worden door het feit dat er door deze reductie een onevenwicht gaat ontstaan in het aanbod van beladen containers, terwijl de vraag naar beladen containers hetzelfde blijft. Hierdoor dienen er dus meer lege containers getransporteerd te worden om aan dezelfde vraag te voldoen. Vermits in dit scenario de tijdscomponent in de kostenfunctie voor containeroverslag en containerbehandeling zwaar doorweegt, zal het in dit specifiek geval goedkoper zijn containers te leasen en te stockeren dan het extra transporteren van deze containers. Aan het leasen en stockeren van containers zijn extra kosten verbonden die direct kunnen worden afgeleid uit de doelfunctie. Voornamelijk de subscenario's voor Antwerpen en luik, die een groot aantal containers leasen en stockeren, vertonen minima in de doelfunctie. Opmerkelijk is het wel dat het aantal geleasede en gestockeerde containers opmerkelijk lager ligt in het 45 procent reductie scenario dan in het 90 procent reductie scenario.

7.7 Scenario 4 – toename van de havengelden en wachttijd voor het binnenkomen van een terminal of haven

In het volgende scenario wordt er nagegaan welke de mogelijke effecten zijn van een toename van de havengelden en een toename van de wachttijd voor het binnenkomen van een terminal of haven op het transport van lege en beladen containers in het weergegeven routenetwerk.

In dit scenario wordt uitgegaan van een stijging van de havengelden met 90 euro en een toename van de wachttijd voor het binnenkomen van een terminal of haven met 30 respectievelijk 60 minuten. De opzet van dit scenario is om na te gaan of een stijging van de wachttijd en havengelden een significante invloed hebben op het reisschema en het totale transport van lege en beladen containers. De resultaten hiervan worden vervolgens vergeleken ten opzichte van elkaar en ten opzichte van het basisscenario.

7.7.1 Werkwijze scenario 4

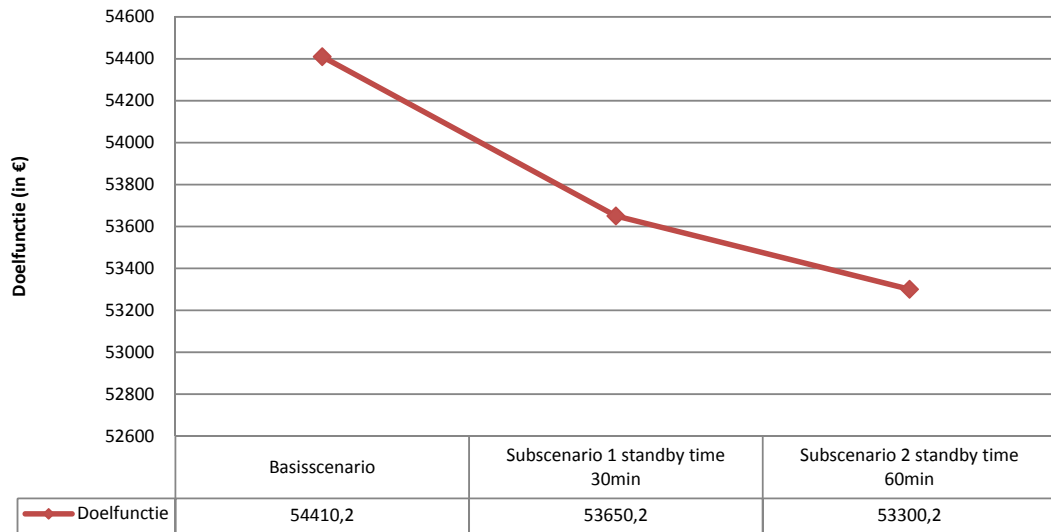
Zoals eerder weergegeven wordt in dit scenario uitgegaan van een stijging van de havengelden met 90 euro en een toename van de wachttijd voor het binnenkomen van een terminal of haven met 30 respectievelijk 60 minuten.

7.7.2 Bespreking resultaten scenario 4

De resultaten van dit onderzoek zijn weergegeven in appendix 8.

7.7.2.1 Doelfunctie

Bij een vergelijking van de doelfunctie, die streeft naar een maximalisering van de winst, valt op dat de hoogste winst wordt gegenereerd door het basisscenario. Dit is op zich niet verwonderlijk daar er in het basisscenario niet wordt uitgegaan van een stijging van de havengelden en een toename van de wachttijd voor het binnenkomen van een terminal of haven. Onderstaande figuur (figuur 7-19) geeft de doelfunctie weer voor zowel het basisscenario als de scenario's met toegenomen wachttijd.



FIGUUR 7-19. DOELFUNCTIE WEERGEGEVEN VOOR HET BASISSCENARIO EN DE VERSCHILLENDE SUBSCENARIO'S (STANDBY TIME 30MIN EN STANDBY TIME 60MIN).

Bij het vergelijken van de winstfunctie van beide scenario's met het basisscenario is er een duidelijke neerwaartse trend merkbaar van de winstfunctie ten opzichte van het basisscenario. Dit is echter, rekening houdend met de schaalverdeling, slechts een beperkte daling.

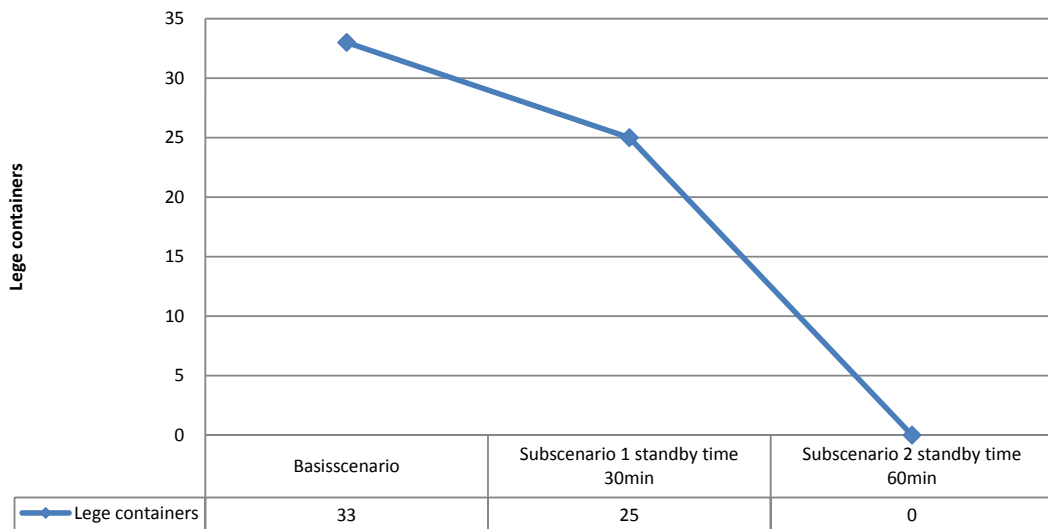
Om tot een mogelijke interpretatie te komen, dienen we de doelfunctie tot ontleden in zijn componenten, zijnde de opbrengstencomponent (R) en de kosten gerelateerd aan de herlocatie van lege containers (P). De overige componenten van de doelfunctie blijven immers invariabel tijdens het onderzoek. In de hieropvolgende subsecties van deze paragraaf wordt nagegaan of er een verband kan worden aangetoond tussen enerzijds de samenstellende componenten van de opbrengstenfunctie en de resultaten van de doelfunctie.

7.7.2.2 Containertransport

In onderstaande secties wordt het transport van lege en beladen containers per subscenario besproken.

7.7.2.2.1 Lege containers

Onderstaande grafiek (figuur 7-20) geeft het totaal aantal getransporteerde lege containers weer voor het basisscenario en de verschillende subscenari'o's.

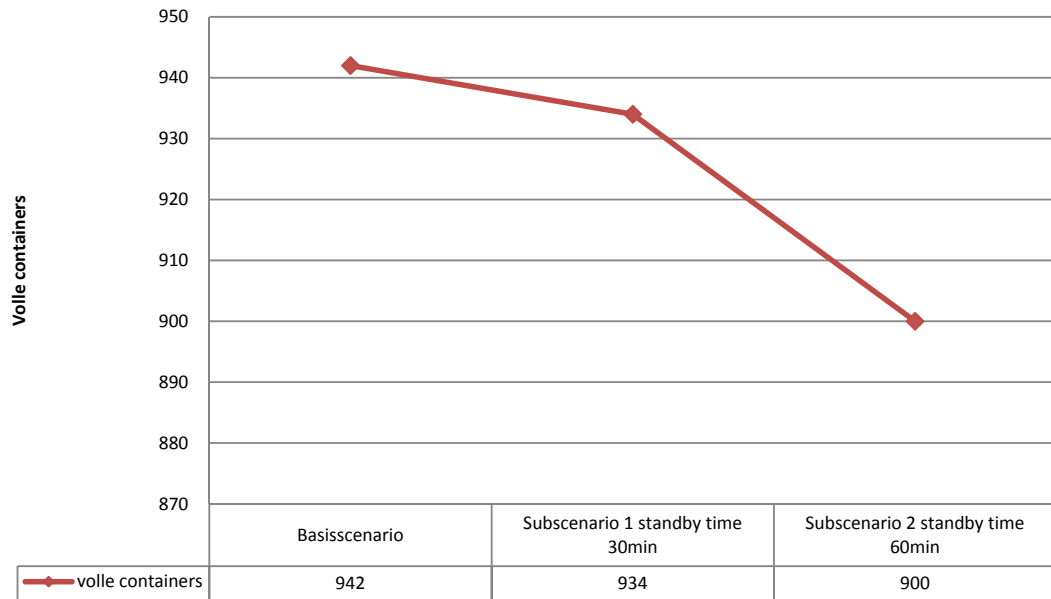


FIGUUR 7-20. TOTAAL AANTAL GETRANSPORTEERDE LEGE CONTAINERS WEERGEGEVEN VOOR HET BASISSCENARIO EN DE VERSCHILLENDE SUBSCENARIO'S (STANDBY TIME 30MIN EN STANDBY TIME 60MIN).

Bij een vergelijking van de resultaten ten opzichte van het basisscenario valt onmiddellijk op dat in het subscenari'o met toegenomen wachttijd (standby time 60min) er geen lege containers worden getransporteerd tussen de verschillende terminals. Vermoedelijk zal de tijdscomponent in de kostenfunctie voor containeroverslag en -behandeling van lege containers de reden zijn waarom er geen lege containers worden overgeslagen bij een toename van de wachttijden voor het binnenkomen van een terminal of haven. Het totaal aantal getransporteerde lege containers in het subscenari'o met toegenomen wachttijd (standby time 30min) ligt in vergelijking met het totaal aantal getransporteerde containers uit het basisscenario een fractie lager.

7.7.2.2.2 Beladen containers

Onderstaande grafiek (figuur 7-21) geeft het totaal aantal getransporteerde beladen containers weer voor het basisscenario en de verschillende subscenari'o's.



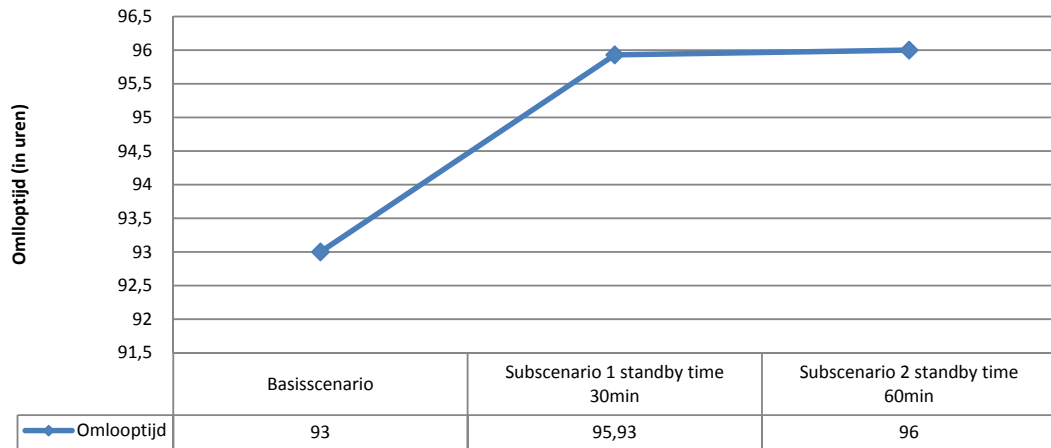
FIGUUR 7-21. TOTAAL AANTAL GETRANSPORTEERDE BELADEN CONTAINERS WEERGEGEVEN VOOR HET BASISSCENARIO EN DE VERSCHILLENDE SUBSCENARIO'S (STANDBY TIME 30MIN EN STANDBY TIME 60MIN).

Bij een vergelijking van de resultaten ten opzichte van het basisscenario valt op dat in de subscenario's een fractie minder beladen containers worden vervoerd. Een mogelijke verklaring voor deze daling in het totaal aantal getransporteerde containers kan te wijten zijn aan het feit dat er door de toegenomen wachttijd aan terminals en havens minder containers kunnen worden overgeslagen, rekening houdend met de maximale omlooptijd.

Uit voorgaande grafieken valt af te leiden dat wanneer het aantal te transporteren beladen containers lager is in vergelijking met de overige scenario's, dit een merkbaar negatief effect heeft op het verloop van de doelfunctie. Dit is te verklaren doordat het transport van beladen containers de belangrijkste opbrengstcomponent is van de doelfunctie.

7.7.2.3 Omlooptijd

In onderstaande figuur (figuur 7-22) wordt de omlooptijd weergegeven (in uren) voor het basisscenario en de verschillende subscenario's. In het onderzoek zelf werd de maximale omlooptijd vastgesteld op 4 dagen oftewel 96 uren.



FIGUUR 7-22. TOTALE OMLOOPTIJD WEERGEGEVEN VOOR HET BASISSCENARIO DE VERSCHILLENDE SUBSCENARIO'S (STANDBY TIME 30MIN EN STANDBY TIME 60MIN).

Uit figuur 7-22 kunnen we afleiden dat in de twee subscenario's de maximale omlooptijd wordt bereikt. Uit deze grafiek blijkt eveneens dat de omlooptijd een belangrijke variabele is in het gehele transportproces.

7.7.2.4 Stockage en leasing

In geen van de gesteste scenario's werden containers opgeslagen of geleased.

7.7.2.5 Routing

In beide gesteste scenario's werden in zowel de heen- als retourvaart alle terminals aangedaan in opeenvolgende volgorde.

7.8 Scenario 5 – toename van de havengelden en wachttijd voor het binnenkomen van een terminal of haven bij een gereduceerde omlooptijd

In het volgende scenario wordt er nagegaan welke de mogelijke effecten zijn van een toename van de havengelden en een toename van de wachttijd voor het binnenkomen van een terminal of haven op het transport van lege en beladen containers in het weergegeven routenetwerk wanneer de omlooptijd slechts 3 dagen is.

In dit scenario wordt uitgegaan van een stijging van de havengelden met 90 euro en een toename van de wachttijd voor het binnenkomen van een terminal of haven met 30 respectievelijk 60 minuten. Het scenario is quasi analoog aan scenario 4 met dat verschil dat de omlooptijd gereduceerd werd tot 3 dagen. De opzet van dit scenario is om na te gaan of een stijging van de wachttijd en havengelden, in combinatie met een gereduceerde omlooptijd, een significante invloed hebben op het reisschema en het totale transport van lege en beladen containers. De resultaten hiervan worden vervolgens vergeleken ten opzichte van elkaar en ten opzichte van het basisscenario.

7.8.1 Werkwijze scenario 5

Zoals eerder weergegeven wordt in dit scenario uitgegaan van een stijging van de havengelden met 90 euro en een toename van de wachttijd voor het binnenkomen van een terminal of haven met 30 respectievelijk 60 minuten.

7.8.2 Bespreking resultaten scenario 5

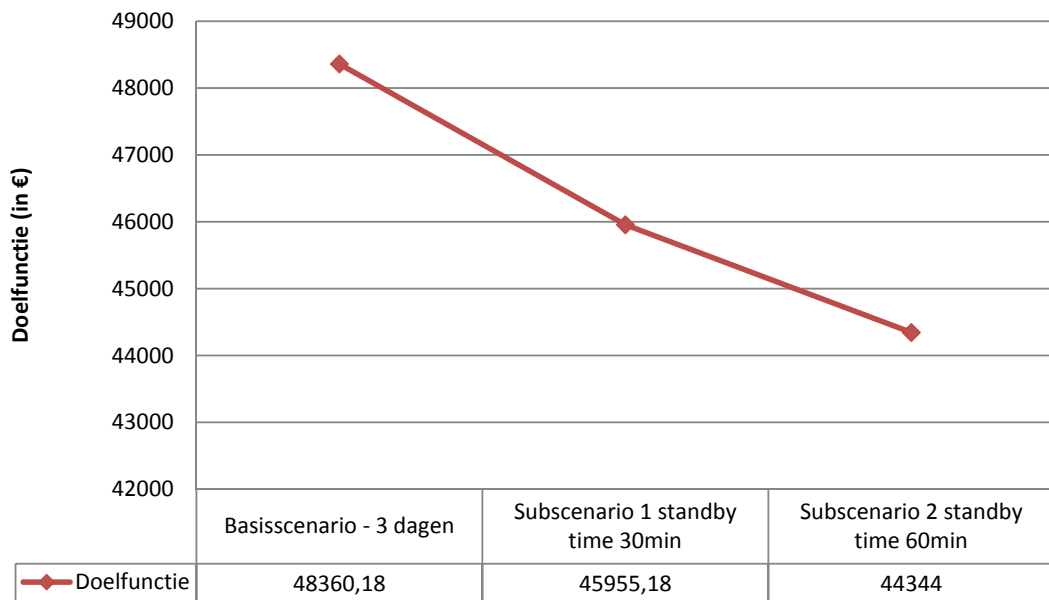
De resultaten van dit onderzoek zijn weergegeven in appendix 9.

7.8.2.1 Doelfunctie

Bij een vergelijking van de doelfunctie, die streeft naar een maximalisering van de opbrengsten, valt op dat de hoogste opbrengst wordt gegenereerd door het basisscenario. Dit is op zich niet verwonderlijk daar er in het basisscenario niet wordt

uitgegaan van een van een stijging van de havengelden en een toename van de wachttijd voor het binnenkomen van een terminal of haven.

Onderstaande figuur (figuur 7-23) geeft de doelfunctie weer, met bijhorende kosten, voor zowel het basisscenario als de scenario's met toegenomen wachttijd en gereduceerde omlooptijd. Bij het vergelijken van de doelfuncties van beide scenario's met het basisscenario is er een duidelijke uitgesproken neerwaartse trend merkbaar van de doelfunctie ten opzichte van het basisscenario.



FIGUUR 7-23. DOELFUNCTIE WEERGEGEVEN VOOR HET BASISSCENARIO EN DE VERSCHILLENDE SUBSCENARIO'S (STANDBY TIME 30MIN EN STANDBY TIME 60MIN).

Om tot een mogelijke interpretatie en verklaring te komen van deze afnemende doelfunctie, is het noodzakelijk de doelfunctie te ontleden in al zijn samenstellende componenten. Vermits de overige samenstellende componenten in de doelfunctie invariabel blijven tijdens het onderzoek blijkt dat hoofdzakelijk de opbrengstencomponent (R) en de kosten gerelateerd aan de herlocatie van lege containers (P) verantwoordelijk zijn voor deze minima in de opbrengstenfunctie. In de hieropvolgende subsecties wordt nagegaan of er een verband kan worden aangetoond

tussen enerzijds de componenten van de opbrengstenfunctie en de resultaten van de doelfunctie.

7.8.2.2 Containertransport

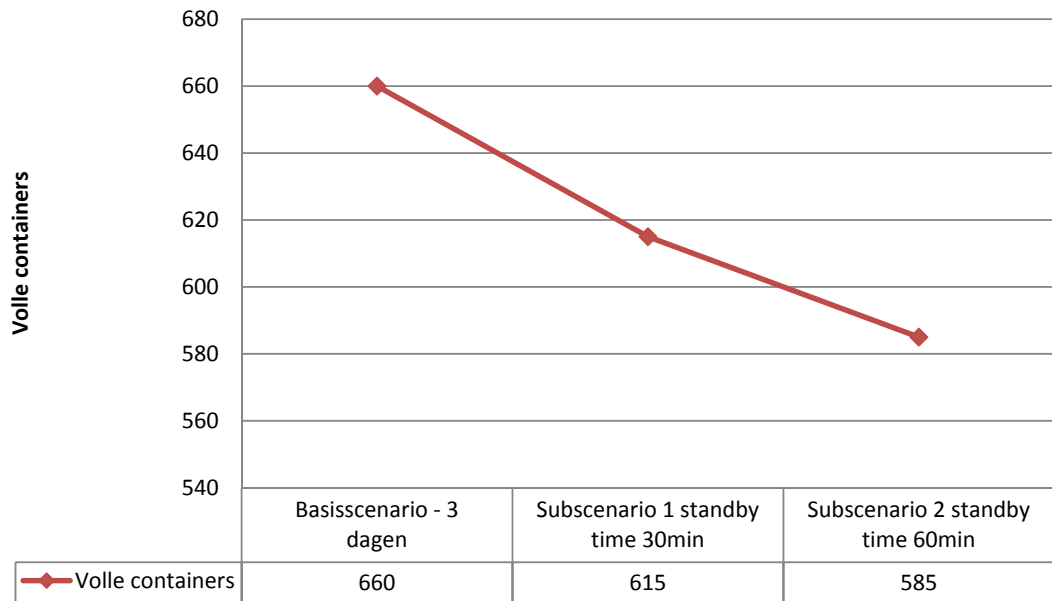
In onderstaande secties wordt het transport van lege en beladen containers per subscenario besproken.

7.8.2.2.1 *Lege containers*

Voor de geteste scenario's worden er in geen van de verschillende subscenario's lege containers getransporteerd. Een mogelijke verklaring hiervoor is dat het leasen en stockeren van lege containers goedkoper uitkomt dan het transport en de overslag hiervan, rekening houdende met een gereduceerde omlooptijd. Vermoedelijk zal de tijdscomponent in de kostenfunctie voor containeroverslag en -behandeling van lege containers de doorslag geven waarom er geen lege containers worden overgeslagen bij een gereduceerde omlooptijd.

7.8.2.2.2 *Beladen containers*

Onderstaande grafiek (figuur 7-24) geeft het totaal aantal getransporteerde beladen containers weer voor het basisscenario en de verschillende subscenario's. Bij een vergelijking van de resultaten ten opzichte van het basisscenario valt op dat in de subscenario's een fractie minder beladen containers worden vervoerd. Een mogelijke verklaring voor deze lichte daling in het totaal aantal getransporteerde containers kan te wijten zijn aan het feit dat er door de toegenomen wachttijd aan terminals en havens minder containers kunnen worden overgeslagen, rekening houdend met de gereduceerde omlooptijd.



FIGUUR 7-24. TOTAAL AANTAL GETRANSPORTEERDE BELADEN CONTAINERS WEERGEGEVEN VOOR HET BASISSCENARIO EN DE VERSCHILLENDE SUBSCENARIO'S (STANDBY TIME 30MIN EN STANDBY TIME 60MIN).

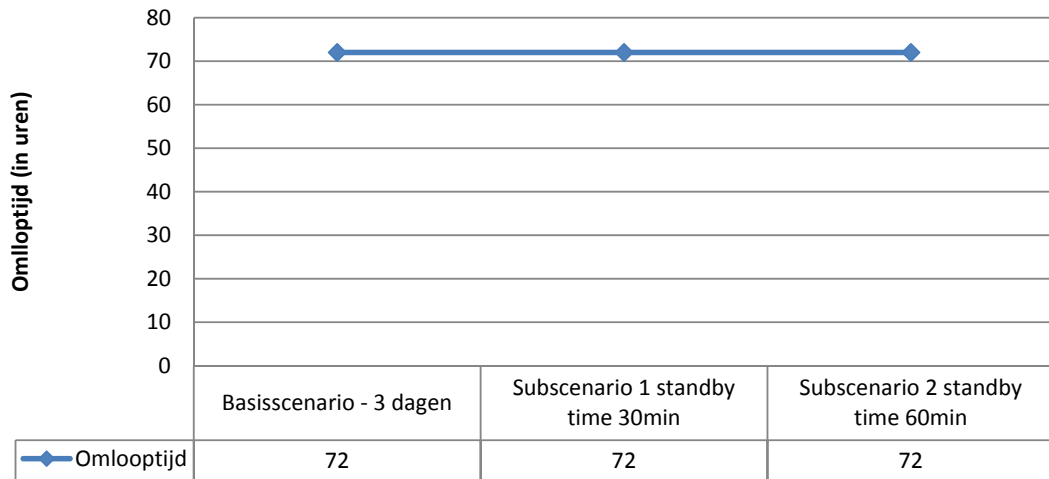
Uit voorgaande grafieken valt af te leiden dat wanneer het aantal te transporteren beladen containers lager is in vergelijking met de overige scenario's, dit een merkbaar negatief effect heeft op het verloop van de doelfunctie. Dit is te verklaren doordat het transport van beladen containers een belangrijke opbrengstcomponent is van de doelfunctie.

7.8.2.3 Omlooptijd

In onderstaande figuur (figuur 7-25) wordt de omlooptijd weergegeven (in uren) voor het basisscenario en de verschillende subscenari'o's. In dit onderzoek zelf werd de maximale omlooptijd vastgesteld op 3 dagen oftewel 72 uren.

Uit figuur 7-25 kunnen we afleiden dat in zowel het basisscenario als in elk van de subscenari'o's de maximale omlooptijd werd bereikt. Een mogelijke verklaring dat in zowel het basisscenario als in elk van de subscenari'o's de maximale omlooptijd werd

bereikt, kan gegeven worden door het feit dat de omlooptijd te minimaal werd gekozen waardoor niet alle beladen containers konden getransporteerd werden.



FIGUUR 7-25. TOTALE OMLOOPTIJD WEERGEGEVEN VOOR HET BASISSCENARIO DE VERSCHILLENDE SUBSCENARIO'S (STANDBY TIME 30MIN EN STANDBY TIME 60MIN).

7.8.2.4 Stockage en leasing

Uit het onderzoek blijkt dat er enkel voor het subscenario 2 (standby time 60min) containers worden geleased en gestockeerd. Met name worden in dit subscenario 37 containers geleased in de haven van Antwerpen en worden er vervolgens 37 containers gestockeerd in de terminal van Deurne. Een mogelijke verklaring hiervoor kan te maken hebben met het feit dat het, in dit specifiek geval, goedkoper is om containers te leasen en te stockeren dan het extra transporteren van deze containers.

7.8.2.5 Routing

Onderstaande tabel (tabel 7-7) geeft de volgorde van terminals weer die worden aangedaan in de heen- en retourvaarten voor zowel het basisscenario als de verschillende subscenario's. Door de beperking die werd opgelegd betreffende de

maximale omlooptijd in de subscenario's is het niet altijd mogelijk elke terminal aan te doen.

TABEL 7-7. ROUTERING OVER HET ROUTENETWERK WEERGEGEVEN VOOR HET BASISSCENARIO DE VERSCHILLENDE SUBSCENARIO'S (STANDBY TIME 30MIN EN STANDBY TIME 60MIN).

	Basisscenario	Subscnerio 1	Subscenario 2
		Standby time 30min	Standby time 60min
Heen-en retourvaart	1-2-3-5	1-2-5	1-2-5
	5-4-3-2-1	5-4-3-2-1	5-4-3-2-1

8 Algemeen conclusie en aanbevelingen

In dit laatste hoofdstuk van deze eindverhandeling worden de belangrijkste conclusies besproken met betrekking tot de literatuurstudie en het gevoerde praktijkonderzoek, alsook worden een aantal aanbevelingen opgenomen. Deze aanbevelingen zijn echter opgemaakt volgens de eigen conclusies en bevindingen die uit de literatuurstudie en het praktijkonderzoek naar voor zijn gekomen. Het is echter geen exhaustieve objectieve lijst van aanbevelingen maar eerder een aantal richtlijnen die persoonlijk belangrijk worden bevonden in het kader van het herpositioneren van lege containers.

Enige nuancering dient hierbij gemaakt te worden daar het werkdomein van onderzoekers zich hoofdzakelijk beperkt tot mathematische allocatieprocessen en allocatiemodellen voor lege containers voor maritieme toepassing. Momenteel zijn routeringsproblemen voor de binnenvaart nog onvoldoende onderzocht waardoor er nog enorme kansen voor verder onderzoek en verbeteringen bestaan in dit onderzoeksgebied.

8.1 Algemene conclusies

8.1.1 Algemene conclusie literatuurstudie

In de literatuurstudie wordt onderzocht welke oorzaken aan de basis liggen van de handelsonevenwichten tussen de economische grootmachten die uiteindelijk leiden tot massale overzeese herpositionering van lege containers. Aan de hand van optimalisatiemodellen en -processen voor containertransport wordt onderzocht hoe de hoge kostencomponent van leeg containertransport tot een minimum kan gereduceerd worden door middel van een herpositionering van lege containers, om zo de stroom tussen export en import te balanceren.

In de literatuur wordt hoofdzakelijk gewezen op twee factoren die verantwoordelijk zijn voor het logistieke probleem omtrent het beheer van lege containers. Enerzijds is er de indrukwekkende economische groei van Aziatische grootmachten als China en Indië die de laatste decennia geleid heeft tot een explosie van het maritieme containertransport. Anderzijds zijn er de structurele veranderingen in de globale productienetwerken die

geleid hebben tot een aanzienlijke toename van de globale en lokale handelsonevenwichten. Deze twee factoren hebben er hoofdzakelijk voor gezorgd dat het aantal lege containers dat dient verplaatst te worden van consumptie naar productie regio's aanzienlijk is toegenomen.

Door deze dynamieken in het containertransport en de afhankelijkheid van verschillende factoren die deze beïnvloeden proberen rederijen, vaak tevergeefs, een strengere controle te houden over hun containertransporten. Enerzijds proberen ze de tijd te verminderen die ze opleggen aan afnemers en verladers voor het retourtransport van hun lege containers en anderzijds wordt een onkostenvergoeding opgelegd wanneer afnemers of verladers de opgelegde termijn voor retourtransport overschrijden.

Dergelijke maatregelen zijn echter niet adequaat genoeg om het lege containertransport terug te dringen. Het eigenlijke probleem zit in het feit dat men in het goedertransport streeft naar een gelijktijdige optimalisatie van kosten en diensten van de operatie. Dit is een zeer complex probleem omdat het in het goedertransport meestal niet mogelijk is om nieuwe vrachten te laden bij de verschillende verladers en consumenten. Momenteel wordt slechts 3 procent van de lege containerverplaatsingen rechtstreeks van import- naar exportbedrijven gealloceerd. Hierdoor ontstaat er een transport van lege containers naar rederijen of exportbedrijven, wat hoge kosten met zich meebrengt. Een belangrijk beslissingsprobleem hierbij is hoe lege containers op een tijdige en efficiënte wijze kunnen gealloceerd worden met een minimum aan transportkosten.

Aan de hand van allocatie- en routeringsmodellen is het mogelijk om een optimale distributie van lege containers te bekomen met een minimum aan transportkosten. Allocatiemodellen streven naar het bepalen van wat de beste distributie is van lege containers en voldoen aan de vraag en eisen van zowel huidige als toekomstige verladers en consumenten. In de literatuur wordt er onderscheid gemaakt tussen deterministische en stochastische allocatiemodellen. Deterministische modellen veronderstellen een perfecte kennis van de beschikbare informatie. Als gevolg van de onzekerheid in de toekomstige vraag en aanbod kunnen ze echter niet voorzien in het aantal gevraagde containers bij een groter dan verwachte vraag of een lager dan verwachte import. Stochastische optimalisatiemodellen daarentegen vereisen een goede kennis van

onzekere parameters. Op dit moment bestaat er echter geen optimalisatiemodel, gericht op de herpositionering van lege containers.

Routeringsmodellen hebben als doel om de totale transportkosten van zowel lege als beladen containers te minimaliseren. De output van dergelijk model bestaat uit een set van transportroutes die de bewegingen van beladen en lege containers voor de volgende periodes volledig beschrijven. Momenteel reikt de literatuur ons echter geen optimale oplossing aan voor het geïntegreerde probleem van distributie en allocatie van volle en lege containers wegens de complexiteit van het geheel.

8.1.2 Algemene conclusie praktijkonderzoek

In het praktijkgedeelte van deze verhandeling wordt op basis van het model Maraš een model geconceptualiseerd dat de optimale herpositionering is van lege containers in een lineair binnenvaartnetwerk weergeeft. Meer specifiek wordt dit optimalisatiemodel geformuleerd voor een lineair binnenvaartnetwerk met vijf overslagterminals. Op basis van aangepaste data van het Belgische binnenvaartnetwerk en middels de optimaliseringssoftware LINGO worden een aantal hypothetische praktijksituaties berekend. Het model biedt niet zozeer een oplossing op de geformuleerde onderzoeksvraag, maar stelt ons eerder in staat om een opbrengsten- en kostenmodel op te stellen voor het containertransport in lineair binnenvaartnetwerk.

Uit deze geteste praktijksituaties blijkt dat de opbrengsten afhankelijk zijn van het aantal volle containers die getransporteerd worden tussen de verschillende terminals en de kosten gerelateerd aan de herlocatie van lege containers indien de overige componenten van de opbrengstenfunctie invariabel blijven. De kosten gerelateerd aan de herlocatie van lege containers omvatten de kosten van opslag en het vervoer van lege containers, alsook de kosten voor containeroverslag en –behandeling van lege containers. De meeste resultaten uit de geteste praktijksituaties waren zo goed als analoog aan de resultaten die we voordien dachten uit te komen. Toch konden we tijdens het praktijkonderzoek zelf een aantal opmerkelijke vaststellingen doen met betrekking tot het transport van lege en beladen containers. Een verklaring voor deze opmerkelijke resultaten was niet altijd meteen voorhanden. Eveneens blijkt ook uit de praktijkonderzoeken dat een gereduceerde omlooptijd of verhoogde laad- en lostijden en wachttijden een nefast effect

hebben op de gegenereerde winst. In dit geval kunnen er slechts een beperkter aantal volle containers getransporteerd worden en is het vaak voordeliger om lege containers te stockeren en leasen in de verschillende overslagterminals.

Het praktijkonderzoek zelf heeft aangetoond dat een beslissingsondersteunend systeem een aanzienlijke bijdrage kan leveren in het plan- en besluitvormingsproces van rederijen en transportmaatschappijen om tot een optimale herlocatie te komen van lege en beladen containers tussen de verschillende havens en terminals die worden aangedaan.

8.2 Aanbevelingen voor verder onderzoek

8.2.1 Aanbevelingen literatuurstudie

In de geraadpleegde wetenschappelijke onderzoeken ligt de nadruk hoofdzakelijk in het optimaliseren van het logistieke probleem zoals de toewijzing en verdeling van lege vrachtcontainers aan terminals en havens, evenwicht bekomen tussen import- en exportstromen om zo te voldoen aan toekomstige eisen voor verscheping (Crainic et al., 1993; Gendron en Crainic, 1995; Shen en Khoong, 1995; Coslovich et al., 2006; Choong et al., 2002, Olivo et al., 2005; Song en Earl, 2008), de effecten van de planningshorizon op het beheer en de herpositionering van lege containers (Jansen et al., 2004; Cheung en Chen, 1998), de dynamische toewijzing van lege containers (Jula et al., 2006; Janakiraman et al., 2007) en strategieën met betrekking tot het balanceren van lege containerstromen in de context van een netwerk design probleem (Gendron en Crainic, 1997; Bourbeau et al., 2000; Imai en Rivera, 2001; Powell en Topaloglu, 2003; Li et al., 2004; Ting en Tzeng, 2004; Song et al., 2005; Ang et al., 2007; Shintani et al., 2007; Boile et al., 2008).

Een meer efficiëntere toepassing om het logistieke probleem van toewijzing en verdeling van lege containers te verhelpen is het principe van de 'grey boxes'. Hoewel het begrip 'grey boxes' reeds in de jaren tachtig is ontstaan, is er nog maar weinig wetenschappelijk onderzoek verricht naar de slaagkansen van dit concept. Deze 'grey boxes' zijn in feite naamloze containers, zoder logo's of andere aanduidingen, die eigendom zijn van meerdere rederijen gezamenlijk (Vianen et al., 2009). Doordat rederijen zo gebruik

kunnen maken van elkaars containers zou de voorraad lege containers aanzienlijk lager kunnen zijn.

Theoretisch is de grijze container een ideaal concept om een verbetering in de efficiëntie en flexibiliteit van het vervoer van lege containers te realiseren, het milieu te ontlasten en de congestie te verminderen (Vianen, 2009). Hoewel het concept van de grijze container veelbelovend klinkt, heeft er nog geen implementatie op grote schaal plaatsgevonden. De reden hiervoor is het ontbreken van de zogenaamde 'branding and imaging', het hebben van hun logo en/of naam op de container (Vianen et al., 2009). Het logo is een belangrijk marketingonderdeel in de marketingstrategie van rederijen. Ook houden rederijen graag de coördinatie en controle in eigen hand. Daarnaast hebben rederijen het gevoel dat de potentie van het aantal containercombinaties dusdanig klein is dat deze niet op weegt tegen de benodigde investeringen (Vianen, 2009; Vianen et al., 2009).

In de literatuur wordt echter aangegeven dat het concept van de 'grey boxes' in werkelijkheid geen succes zal zijn. Een aantal reders heeft dit reeds uitgeprobeerd, maar op dit moment nog zonder resultaat (OECD International Transport Forum, 2009; Vianen et al., 2009). Het is bekend dat bijvoorbeeld een reder als Maersk erg hecht aan de naam op de containers, aangezien het heel duidelijk een imago en marketingstrategie heeft. Verwacht wordt dat het in theorie erg succesvol klinkende concept in praktijk nooit van de grond zal komen.

Een aantal andere aanbevelingen en technologische oplossingen werden reeds weergegeven in paragraaf 4.3. Deze betreffen het aanwenden van meer geavanceerde toepassingen in het beheer van lege containers zoals het gebruik van efficiëntere management informatie systemen, het samenbrengen van vraag en aanbod van lege containers via internet gebaseerde systemen en het concept van opvouwbaar containers. Ook deze technologische oplossingen betreffende het beheer en transport van lege containers verdienen nog verder onderzoek en kunnen eventueel in de toekomst geïntegreerd worden in het transportproces en het beheer van lege vrachtcontainers.

8.2.2 Aanbevelingen praktijkonderzoek

Uit praktijkonderzoek en wetenschappelijke artikels (Maraš, 2008; Li, Leung, Wu & Liu, 2007; Lam, Lee & Tang, 2007; Shintani, Imai, Nishimura & Papadimitriou, 2007; Dong & Song, 2009; Bandeira, Becker & Borenstein, 2009; Di Francesco, Crainic & Zuddas, 2009; Choong, Cole & Kutanoglu, 2002) omtrent mathematische allocatieprocessen en allocatiemodellen voor lege containers voor maritieme toepassing blijkt dat routeringsproblemen voor de binnenvaart nog onvoldoende onderzocht zijn. Aangaande het beheer van lege containers in de binnenvaart zijn er bijgevolg nog enorme kansen voor verder onderzoek en verbeteringen.

Het model van Maraš, dat werd toegepast in het praktijkonderzoek, bevat een aantal parameters die van invloed zijn op de winstgevendheid van het containertransport in een binnenvaarnetwerk. Hoewel het model redelijke resultaten oplevert, zijn er een aantal verbeteringen mogelijk die het routeringsprobleem voor de binnenvaart meer realistisch maken en die verder onderzoek beogen.

Een eerste aspect voor verder onderzoek is de invloed die elke kostencomponent heeft op de totale kosten. Momenteel kan het effect van een wijziging in een kostencomponent niet duidelijk worden afgeleid uit de gehele doelfunctie. Ook dient er te worden nagegaan of het mogelijk is de route van het schip te wijzigen gedurende de opgegeven planningshorizon om zo realistische situaties te simuleren. Eveneens kan het stochastisch formuleren van een aantal parameters (vb. of een haven wordt aangedaan of niet) hiertoe bijdragen. Verder werd in het praktijkonderzoek uitgegaan van een hypothetische situatie wegens de minimale respons omtrent containergrafieken en transport in het Belgische binnenvaarnetwerk. De kosten en het netwerkvolume van deze hypothetische situatie zijn wel grotendeels gebaseerd op werkelijke cijfers. Doch het wordt aangeraden het model toe te passen op een bestaand terminalnetwerk met werkelijke trafiek- en kostengegevens.

Tot slot is verder onderzoek eveneens nodig om het model uit te breiden, zodat de realiteit steeds meer kan benaderd worden in deze zeer complexe programmeringsmodellen. Tevens is deze complexiteit ook een zwakte van het gehele model. Een alternatief voor het gegeven routerings- en allocatieprobleem is het implementeren van een geschikte heuristische methode (Maraš, 2008). De ontwikkeling

van verbeterde software, speciaal bedoeld voor complexe programmeringsmodellen, kan de praktische toepassing van dit model verder verbeteren.

LIJST VAN DE GERAADPLEEGDE WERKEN

- APS. (2006). *Vlaamse statistieken, strategisch management en surveyonderzoek*. Geraadpleegd op 2 november 2009, op http://aps.vlaanderen.be/statistiek/cijfers/stat_cijfers_mobiliteit.htm
- Bandeira, D. L., Becker, J. L., & Borenstein, D. (2009). *A DSS for integrated distribution of empty and full containers*. *Decision Support Systems*, 2009.
- Beaujon, G. J., & Turnquist, M. A. (1991). *A model for fleet sizing and vehicle allocation*. *Transportation Science* 25 (1), 19–45.
- Binnenvaart België. (n.d.). *Binnenvaart info: Troeven van de binnenvaart*. Geraadpleegd op 20 april 2010, op <http://www.binnenvaart.be/nl/binnenvaartinfo/troeven.asp>
- Boile, M., Theofanis, S., Baveja, A., & Mittal, N. (2008). *Regional repositioning of empty containers: A case for inland depots*. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board* (in press).
- Boile, M., Theofanis, S., Golias, M., & Mittal, N. (2006). *Empty marine container management – Addressing locally a global problem*. *Proceedings of the 85th Annual Meeting of the Transportation Research Board*, Washington, D.C.
- Bourbeau, B., Crainic, T. G., & Gendron, B. (2000). *Branchand- bound parallelization strategies applied to a depot location and container management problem*. *Parallel Computing*, 26, 27–46.
- Braekers, K., Janssens, G., & Caris, A. (2009). *Integrating empty container allocation with vehicle routing in intermodal transport*. In: *The International Workshop on Harbour, Maritime & Multimodal Logistics Modelling and Simulation*. 132-139.

- Chang, H., Jula, H., Chassiakos, A., & Ioannou, P. (2006). *Empty Container Reuse in the Los Angeles/Long Beach Port Area*. Proceedings of National Urban Freight Conference. February 1-3, Long Beach (California, USA).
- Cheung, R. K., & Chen, C. Y. (1998). *A two stage stochastic network model and solution methods for dynamic empty container allocation problem*. *Transportation Science*, 32(2), 142–162.
- Choong, S. T., Cole, M. H., & Kutanoglu, E. (2002). *Empty container management for intermodal transportation networks*. *Transportation Research Part E*, 38, 423–438.
- Coslovich, L., Pesenti, R., & Ukovich, W. (2006). *Minimizing fleet operating costs for a container transportation company*. *European Journal of Operational Research*, 17, 776–786.
- Crainic, P. J., Gendreau, M., & Dejax, P. J. (1991). *A dynamic model for the allocation of empty containers*. Publication # 713, Centre de Recherche sur les Transports. University of Montreal.
- Crainic, T. G., Gendreau, M., & Dejax, P. J. (1993). *Dynamic and stochastic models for the allocation of empty containers*. *Operations Research* 41 (1), 102–126.
- Debie, J., & Gouvernal, E. (2006). *Intermodal rail in Western Europe: Actors and services in a new regulated environment*. *Growth and Change*, 37(3), 444–459.
- Dejax, P. J., Benamar, F., Crainic, T. G., & Gendreau, M. (1992). *Short term container fleet management: issues, models and tools*. In: Proceedings of the 6th World Conference on Transport Research, Lyon, France, 29 June–3 July.
- Dejax, P. J., & Crainic, T. G. (1987). *A review of empty flows and fleet management models in freight transportation*. *Transportation Science* 21(4), 227–247.

- Dejax, P. J., Crainic, T. G., & Delorme, L. (1988). *Strategical/tactical planning of container land transportation systems*. TIMS XXVIII/EURO IX Joint meeting, Paris, July 6-8.
- Di Francesco, M., Crainic, T. G., & Zuddas, P. (2009). *The effect of multi-scenario policies on empty container repositioning under uncertainty and data shortage*, Res. Part E 2009.
- Di Francesco, M., Manca, A., & Zuddas, P. (2006). *Optimal Management of Heterogeneous Fleets of Empty Containers*. Proceedings of International Conference on Information Systems, Logistics and Supply Chain, 922-931. May 14-17, Lyon (France).
- Dong J. X., & Song, D. P. (2007). *Impacts of different types of maritime routes in container fleet management on development of optimization model: Case study based on cyclic route*, paper presented at the International Association of Maritime Economists (IAME) Annual Conference, Athens, Greece, July 4-6, 2007.
- Dong J. X., & Song, D. P. (2009). *Container fleet sizing and empty repositioning in liner shipping systems*, Transportation Research Part E, 45(6): 860-877.
- Dynamar (2008). DynaLiners Report, 11/2008.
- Gendron, B., & Crainic, T. G. (1995). *A Branch-and-Bound algorithm for depot location and container fleet management*. Location Science, 3(1), 39-53.
- Gendron, B., & Crainic, T. G. (1997). *A parallel Branch-and-Bound algorithm for multicommodity location with balancing requirements*. Computers and Operations Research, 24(9), 829-847.

- Haven van Antwerpen (2008). *Focus op de haven: multimodale haven*. Geraadpleegd op 14 oktober 2009, op http://www.havenvanantwerpen.be/portal/page/portal/POA_NL/Focus%20op%20de%20haven/Mainport%20in%20het%20hart%20van%20Europa/Binnenvaart
- Imai, A., & Rivera, F. (2001). *Strategic fleet size planning for maritime refrigerated containers*. *Maritime Policy and Management*, 28(4), 361–374.
- ITMMA. (2007). *A market report on the European seaport industry*. Report to the European Seaport Organization. Geraadpleegd op 23 december 2009, op http://www.espo.be/EU_Ports_Facts/ESPO-ITMMA_Market_Report.aspx
- Janakiraman, S., Theofanis, S., Boile, M., & Naniopoulos, A. (2007). *Virtual container yard: Simulation-based feasibility perspective*. Proceedings of the 86th Annual Meeting of the Transportation Research Board, Washington, D.C.
- Jansen, B., Swinkels, P. C. J., Teeuwen, G. J. A., van Antwerpen de Fluiter, B., & Fleuren, H. A. (2004). *Operational planning of a large-scale multimodal transportation*. *European Journal of Operational Research*, 156, 41–53.
- Jula, H., Chassiakos, A., & Ioannou, P. (2006). *Port dynamic empty container reuse*. *Transportation Research Part E*, 42, 43–60.
- Jula, H., Chassiakos, A., & Ioannou, P. (2003). *Methods for Modeling and Routing of Empty Containers in the Los Angeles and Long Beach Port Area*. Technical Report, Center for the Commercial Deployment of Transportation Technologies, California State University.
- Lam, S. W., Lee, L. H., & Tang, L. C. (2007). *An approximate dynamic programming approach for the empty container allocation problem*. *Transportation Research Part C*, 15, 265–277.

- Li, J. A., Liu, K., Leung, S. C., & Lai, K. K. (2004). *Empty container management in a port with long-run average criterion*. *Mathematical and Computer Modelling*, 40, 85– 100.
- Li, J. A., Leung, S.C., Wu, Y., Liu, K. (2007). *Allocation of empty containers between multi-ports*. *European Journal of Operational Research*, 182, 400-412.
- Maraš, V. (2008). *Determining optimal transport routes of inland waterway container ships*. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, No. 2062, 50-58. Transportation Research Board of the National Academies, Washington.
- Merckx, F. (2005). *The issue of dwell time charges to optimize container terminal capacity*. *Proceedings of the IAME 2005 Annual Conference*, Limassol, Cyprus.
- Mongelluzzo, B. (2007). *Maersk Line cuts inland service*. *Direct shipping ends to some U.S. intermodal ramps*. *Pacific Shipper*, February 7.
- Nilsson, I. (2002). *The empty container management problem: In an intermodal context*. *Department of Naval Architecture and Ocean Engineering*. Literature study Transport Optimization. Spring, 2002.
- Notteboom, T., & Merckx, F. (2006). *Freight integration in liner shipping: A strategy serving Global Production Networks*. *Growth and Change*, 37(4), 550–569.
- Notteboom, T., & Rodrigue, J. P. (2007). *Re-assessing Port-Hinterland relationships in the context of global supply chains*. In J. Wang, D. Olivier, T. Notteboom, & B. Slack (Eds.), *Inserting port-cities in global supply chains*, 51–68. London: Ashgate.
- Notteboom, T., & Rodrigue, J. P. (2008). *Containerization, box logistics and global supply chains: The integration of ports and liner shipping networks*. *Maritime Economics and Logistics*, 10(1–2), 152–174.

- OECD International Transport Forum (2009). *Port competition and hinterland connections*. International Transport Forum, 143, 54-58.
- Olivo, A., Zuddas, P., Di Francesco, M., & Manca, A. (2005). *An operational model for empty container management*. Maritime Economics and Logistics, 7, 199-222.
- Parragh, S., Doerner, K., & Hartl, R. (2008). *A survey on pickup and delivery problems - Part II: Transportation between pickup and delivery locations*. Journal für Betriebswirtschaft 58: 81-117.
- Promotie binnenvaart Vlaanderen (2008). *Troeven van de binnenvaart*. Geraadpleegd op 7 april 2010, op <http://www.binnenvaart.be/nl/binnenvaartinfo/troeven.asp>
- Rodrigue, J. P., & Notteboom, T. (2008). *The terminalization of supply chains: Reassessing Port Hinterland logistical relationships*. Maritime Policy and Management (submitted).
- ROI. (2002). *Profit optimization for container carriers*. The ROI Container Cargo Alliance White Paper. Geraadpleegd op 22 januari 2010, op <http://www.imsworldgroup.com/Downloads/ROI%20Product@Services%%201.8.pdf>
- SERV. (2003). Haven- en scheepvaartjargon. Geraadpleegd op 21 december 2009, op http://www.serv.be/Dispatcher.aspx?page_ID=05-03-00-00-012
- Shen, W. S., & Khoong, C. M. (1995). *A DSS for empty container distribution planning*. Information Technology Institute. Decision Support Systems, 15, 75-82.
- Shintani, K., Imai, A., Nishimura, E., & Papadimitriou, S. (2007). *The container shipping network design problem with empty container repositioning*. Transportation Research Part E, 43, 39-59.

- Song, D. P., Zhang, J., Carter, J., Field, T., Marshall, J., Polak, J., et al. (2005). *On cost efficiency of the global container shipping network*. Maritime Policy and Management, 32(1), 15–30.
- Song, D. P., & Earl, C. F. (2008). *Optimal empty vehicle repositioning and fleet-sizing for two-depot service systems*. European Journal of Operational Research, 185, 760–777.
- Taleb-Ibrahimi, M., Castilho, B. D., & Daganzo, C. F. (1993). *Storage space vs. handling work in container terminals*. Transportation Research B 27 (1), 13–32.
- The Tioga Group. (2002). *Empty ocean logistics study*. Technical Report, Submitted to the Gateway Cities Council of Governments, CA.
- Theofanis, S., & Boile, M. (2008). *Empty marine container logistics: facts, issues and management strategies*. Geojournal, Vol. 74, Issue 1. 51-55.
- Ting, S. C., & Tzeng, G. H. (2004). *An optimal containership fleet allocation for liner shipping revenue management*. Maritime Policy and Management., 31(3), 199–211.
- UNCTAD. (2006). Transport Newsletter, 36, Geneva.
- Vannieuwenhuysse, B., Misschaert, M., & Van Breedam, A. (2006). *Handleiding voor een optimale verdeling over de verschillende vervoerwijzen weg, spoor en binnenwateren: van bewustwording tot implementatie*, Antwerpen, Vlaams Instituut voor de Logistiek.
- Van Hoof, S. (2006). *Motorways of the Sea, opportuniteiten naar duurzaam Europees goederenvervoer*. Universiteit Antwerpen, Faculteit toegepaste economische wetenschappen.
- Vianen, J. van (2009). *Interchanging of containers between container shipping lines*, Master thesis. Vrije Universiteit Amsterdam, Faculteit der Economische Wetenschappen en Bedrijfskunde.

Vianen, J. van, Hagdorn, L., Vis, I.F.A. (2009). *De grijze container: een stakeholkers analyse*. Behoeftte aan transparantie in containernetwerken. In voorbereiding.

Veestra, A. W. (2005). *Empty container reposition: The Port of Rotterdam case*. In S. D. P. Flapper, J. A. E. E. van Nunen & L. N. Van Wassenhoven (Eds.), *Managing closed – Loop supply chains*, 65–78. Berlin: Springer.

APPENDIX

APPENDIX 1

1/6

MODEL:

! dit model representeert een container binnenvaartschip dat containers toewijst aan een aantal terminals of depots met L=5 ;

SETS:

terminals /T1..T6/: loadingCostVC, unloadingCostVC, loadingTimeVC, unloadingTimeVC, entryCost, standbyTimeArr, standbyTimeDep, excessCont, demandCont, storageCost, numberContStored, shorttermLeasingCost, numberContLeased, loadingCostEC, unloadingCostEC, loadingTimeEC, unloadingTimeEC, Y, Z;

! terminal T1 is het start- en eindpunt van het containerschip op de binnenvaartroute ;

links(terminals,terminals): freightRate, loadedCT, travelTime, X !(Xij);, expectedNumberVC, distPorts, totLockTime, totTimeCrossBorder, expectedNumberEC, emptyCT ;

ENDSETS

DATA:

! TERMINALS ;

entryCost= @ole('Data Model Maras.xlsx', 'entryCost');
loadingCostVC= @ole('Data Model Maras.xlsx', 'loadingCostVC');
unloadingCostVC= @ole('Data Model Maras.xlsx', 'unloadingCostVC');
loadingTimeVC= @ole('Data Model Maras.xlsx', 'loadingTimeVC');
unloadingTimeVC= @ole('Data Model Maras.xlsx', 'unloadingTimeVC');
standbyTimeDep= @ole('Data Model Maras.xlsx', 'standbyTimeDep');
standbyTimeArr= @ole('Data Model Maras.xlsx', 'standbyTimeArr');
storageCost= @ole('Data Model Maras.xlsx', 'storageCost');
shorttermLeasingCost= @ole('Data Model Maras.xlsx','shortTermLeasingCost');
loadingCostEC= @ole('Data Model Maras.xlsx', 'loadingCostEC');
unloadingCostEC= @ole('Data Model Maras.xlsx', 'unloadingCostEC');
loadingTimeEC= @ole('Data Model Maras.xlsx', 'loadingTimeEC');
unloadingTimeEC= @ole('Data Model Maras.xlsx', 'unloadingTimeEC');


```
! LINKS ;

freightRate = @ole('Data Model Maras.xlsx', 'freightRate');
expectedNumberVC= @ole('Data Model Maras.xlsx', 'expectedNumberVC');
distPorts= @ole('Data Model Maras.xlsx', 'distPorts');
totLockTime= @ole('Data Model Maras.xlsx', 'totLockTime');
totTimeCrossBorder= @ole('Data Model Maras.xlsx', 'totTimeCrossBorder');
expectedNumberEC= @ole('Data Model Maras.xlsx', 'expectedNumberEC');

! CONSTANTEN ;

charterCost = @ole('Data Model Maras.xlsx', 'charterCost');
fuelPrice = @ole('Data Model Maras.xlsx', 'fuelPrice');
fuelCons= @ole('Data Model Maras.xlsx', 'fuelCons');
engineOutput= @ole('Data Model Maras.xlsx', 'engineOutput');
lubricantPrice= @ole('Data Model Maras.xlsx', 'lubricantPrice');
lubricantCons= @ole('Data Model Maras.xlsx', 'lubricantCons');
carryingCap= @ole('Data Model Maras.xlsx', 'carryingCap'); ! in TEU ;
numberPushBarges= @ole('Data Model Maras.xlsx', 'numberPushBarges');
capaciteitPushBarges= @ole('Data Model Maras.xlsx', 'capaciteitPushBarges'); ! in TEU/barge ;
upstreamSpeed= @ole('Data Model Maras.xlsx', 'upstreamSpeed'); ! in km/h ;
downstreamSpeed= @ole('Data Model Maras.xlsx', 'downstreamSpeed'); ! in km/h ;
minRoundTime = @ole('Data Model Maras.xlsx', 'minRoundTime');
maxRoundTime = @ole('Data Model Maras.xlsx', 'maxRoundTime');
M = @ole('Data Model Maras.xlsx', 'M');

ENDDATA

! DOELFUNCTIE ;
! [RSL_PROF] MAX = R - C - P ;

! [1]; [RSL_PROF] MAX = R - C - P;

! waarbij

R= revenues ($)
C= shipping cost ($)
P= empty container-related cost ($)
```

```
Y= resulting profit ($);

! [2]; R = @sum(links(I,J): loadedCT(I,J) * freightRate(I,J));
! [3]; C = TZ + TG + TM + LT + TU;

! waarbij

TZ= time charter costs ($)
TG= fuel cost of a voyage ($)
TM= lubricant cost of a voyage ($)
LT= cost of port entries ($)
TU= container handling (loading and unloading) costs;

! [4]; TZ = charterCost * maxRoundTime;
! [5]; TG = fuelPrice * @sum(links(I,J): fuelCons * engineOutput * travelTime(I,J));
! [6]; TM = lubricantPrice * @sum(links(I,J): libricantCons * engineOutput * travelTime(I,J));
! [7]; LT = @sum(links(I,J) | I #NE# 6 #AND# J #NE# 6: X(I,J) * entryCost(J));
! [8]; TUI = @sum(links(I,J): loadedCT(I,J) * (loadingCostVC(I) + unloadingCostVC(J)));

! Empty Container Repositioning Costs ;

! [9]; emptyStorageLeasingCost = @sum(terminals(I): (storageCost(I) * numberContStored(I) +
shorttermLeasingCost(I) * numberContLeased(I)));
! [10]; handlingCostEC= @sum(links(I,J): emptyCT(I,J) * (loadingCostEC(I) +
unloadingCostEC(J)));
! [11]; P = emptyStorageLeasingCost + handlingCostEC;

! BEPERKINGEN ;

! Upstream Full-Empty Containers (Departure) ;
! [12]; @for(links(I,J) | I #NE# 6 #AND# J #GT# I: loadedCT(I,J) <= expectedNumberVC(I,J) *
@sum(terminals(Q) | Q #GT# I #AND# Q #LE# J : X(I,Q)));
! [13]; @for(links(I,J) | I #NE# 6 #AND# J #GT# I: emptyCT(I,J) <= expectedNumberEC(I,J) *
@sum(terminals(Q) | Q #GT# I #AND# Q #LE# J : X(I,Q)));
```

```
! Downstream Full-Empty Containers (Departure) ;
![14]; @for(links(I,J) | I #GT# 1 #AND# J #LT# I: loadedCT(I,J) <= expectedNumberVC(I,J) *
@sum(terminals(Q) | Q #GE# J #AND# Q #LT# I : X(I,Q)));
![15]; @for(links(I,J) | I #GT# 1 #AND# J #LT# I: emptyCT(I,J) <= expectedNumberEC(I,J) *
@sum(terminals(Q) | Q #GE# J #AND# Q #LT# I : X(I,Q)));

! Upstream Full-Empty Containers (Arrival) ;
![16]; @for(links(I,J) | I #NE# 6 #AND# J #GT# I: loadedCT(I,J) <= expectedNumberVC(I,J) *
@sum(terminals(Q) | Q #GE# I #AND# Q #LT# J : X(Q,J)));
![17]; @for(links(I,J) | I #NE# 6 #AND# J #GT# I: emptyCT(I,J) <= expectedNumberEC(I,J) *
@sum(terminals(Q) | Q #GE# I #AND# Q #LT# J : X(Q,J)));

! Downstream Full-Empty Containers (Arrival) ;
![18]; @for(links(I,J) | I #GT# 1 #AND# J #LT# I: loadedCT(I,J) <= expectedNumberVC(I,J) *
@sum(terminals(Q) | Q #GT# J #AND# Q #LE# I : X(Q,J)));
![19]; @for(links(I,J) | I #GT# 1 #AND# J #LT# I: emptyCT(I,J) <= expectedNumberEC(I,J) *
@sum(terminals(Q) | Q #GT# J #AND# Q #LE# I : X(Q,J)));

! Capacity Ship Upstream;
![20]; @for(links(I,J) | I #NE# 6 #AND# J #GT# I: @sum(links(Q,S)| Q #LE# I #AND# S #GE# J:
loadedCT(Q,S) + emptyCT(Q,S)) <= capaciteit + M*(1-X(I,J))); !emptyCT(Q,S);

! Capacity Ship Downstream;
![21]; @for(links(I,J)| I #GT# 1 #AND# J #LT# I: @sum(links(Q,S)| Q #GE# I #AND# S #LE# J:
loadedCT(Q,S) + emptyCT(Q,S)) <= capaciteit + M*(1-X(I,J))); !emptyCT(Q,S);
![22]; capaciteit = carryingCap + numberPushBarges * capaciteitPushBarges;

![23]; @for(terminals(I)| I #NE# 6: excessCont(I) >= @sum(terminals(J): loadedCT(J,I)) -
@sum(terminals(J): loadedCT(I,J));
excessCont(I) >= 0;
excessCont(I) <= @sum(terminals(J): loadedCT(J,I)) -
@sum(terminals(J): loadedCT(I,J)) + Y(I)*M;
excessCont(I) <= 0 + Z(I)*M;
@sum(terminals(J): loadedCT(J,I)) - @sum(terminals(J):
loadedCT(I,J)) <= (1-Y(I))*M;
```

```

                                @sum(terminals(J): loadedCT(I,J)) - @sum(terminals(J):
loadedCT(J,I)) <= (1-Z(I))*M;

                                @bin(Y(I));
                                @bin(Z(I));

![24]; @for(terminals(I) | I #NE# 6: demandCont(I) >= @sum(terminals(J): loadedCT(I,J)) -
@sum(terminals(J): loadedCT(J,I));
                                demandCont(I) >= 0;
                                demandCont(I) <= @sum(terminals(J): loadedCT(I,J)) -
@sum(terminals(J): loadedCT(J,I)) + Z(I)*M;
                                demandCont(I) <= 0 + Y(I)*M;

                                @sum(terminals(J): loadedCT(I,J)) - @sum(terminals(J):
loadedCT(J,I)) <= (1-Z(I))*M;

                                @sum(terminals(J): loadedCT(J,I)) - @sum(terminals(J):
loadedCT(I,J)) <= (1-Y(I))*M;

![25]; @for(terminals(I): numberContLeased(I) = demandCont(I) - @sum(terminals(J):
emptyCT(J,I));
![26]; @for(terminals(I): numberContStored(I) = excessCont(I) - @sum(terminals(J):
emptyCT(I,J));
![27]; @sum(terminals(J) | J #NE# 1: X(1,J)) = 1;
![28]; @sum(terminals(I) | I #NE# 1: X(I,1)) = 1;
![29]; @for(terminals(Q) | Q #GT# 1 #AND# Q #LT# 6: @sum(terminals(I) | I #LT# Q: X(I,Q)) -
@sum(terminals(J) | J #GT# Q: X(Q,J)) = 0);
![30]; @for(terminals(Q) | Q #GT# 1 #AND# Q #LT# 6: @sum(terminals(I) | I #GT# Q: X(I,Q)) -
@sum(terminals(J) | J #LT# Q: X(Q,J)) = 0);
![31]; VO = UVP + VUP + VUPR + VUI;

! waarbij

VO= round trip time of ship or tow
UVP= total voyage time
VUP= handling time of full containers
VUPR= handling time of empty containers
VUI= time of entering and leaving ports;
```

```
![31]; minRoundTime <= VO/24;
      VO/24 <= maxRoundTime;

! Upstream ;
![32]; @for(links(I,J) | J #GT# I : (distPorts(I,J)/ upstreamSpeed + totLockTime(I,J) +
totTimeCrossBorder(I,J)) * X(I,J) = travelTime(I,J));

! Downstream ;
![33]; @for(links(I,J) | I #GT# J : (distPorts(I,J)/ downstreamSpeed + totLockTime(I,J) +
totTimeCrossBorder(I,J)) * X(I,J) = travelTime(I,J));

![34]; UVP = @sum(links(I,J): travelTime(I,J));
![35]; VUP = @sum(links(I,J): loadedCT(I,J) * (loadingTimeVC(I) + unloadingTimeVC(J)));
![36]; VUPR = @sum(links(I,J): emptyCT(I,J) * (loadingTimeEC(I) + unloadingTimeEC(J)));
![37]; VUI = @sum(links(I,J)| I #NE# 6 #AND# J #NE# 6: X(I,J) * (standbyTimeDep(I) +
standbyTimeArr(J)));

![extra]; @for(terminals(I)| I #NE# 6: X(I,6) = X(6,I));

@for(links(I,I): loadedCT(I,I) = 0);
@for(links(I,I): emptyCT(I,I) = 0);
@for(links(I,J): @bin(X(I,J)));
!@for(links(I,J): X(I,J) <= 1);
@for(links(I,J): @gin(loadedCT(I,J)));
@for(links(I,J): @gin(emptyCT(I,J)));
```

APPENDIX 2

Scenario	Basisscenario			Scenario 1 <i>Antwerpen</i>			Scenario 2 <i>Deurne</i>			Scenario 3 <i>Meerhout</i>			Scenario 4 <i>Genk</i>			Scenario 5 <i>Luik</i>		
	X	load ed	empt y	X	load ed	empt y	X	load ed	empt y	X	load ed	empt y	X	load ed	empt y	X	load ed	empt y
Doelfunctie	54410,18			48535,18			50755,18			46575,18			48505,18			47815,18		
Route up	1-2-3-4-5			1-2-3-4-5			1-2-3-4-5			1-2-3-4-5			1-2-3-4-5			1-2-3-4-5		
Route down	5-4-3-2-1			5-4-3-2-1			5-4-3-2-1			5-4-3-2-1			5-4-3-2-1			5-4-3-2-1		
VO (uren)	93,00			96,00			86,13			77,13			83,00			96,00		
Links	X	load ed	empt y	X	load ed	empt y	X	load ed	empt y	X	load ed	empt y	X	load ed	empt y	X	load ed	empt y
12	1	90	0	1	9	142	1	32	0	1	90	0	1	90	0	1	90	0
13	0	105	0	0	18	0	0	113	0	0	13	0	0	105	0	0	105	0
14	0	0	0	0	13	0	0	11	0	0	79	0	0	0	0	0	0	0
15	0	0	0	0	13	0	0	39	0	0	13	0	0	0	0	0	0	0
21	1	54	0	1	54	0	1	5	0	1	54	27	1	54	0	1	54	0
23	1	21	0	1	108	0	1	13	0	1	0	0	1	3	0	1	21	0
24	0	21	0	0	8	0	0	10	0	0	3	0	0	0	0	0	21	0
25	0	48	0	0	35	0	0	9	0	0	87	0	0	87	0	0	48	0
31	0	141	0	0	133	0	0	143	0	0	14	0	0	81	0	0	122	0
32	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	8	0	1	0	0	1	0	0
34	1	68	0	1	68	0	1	68	0	1	7	0	1	50	0	1	68	0
35	0	58	0	0	58	0	0	58	0	0	6	0	0	58	0	0	58	0
41	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	52	0	0	16	0	0	14	0
42	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	11	0	0	44	0
43	1	85	0	1	77	0	1	87	0	1	0	0	1	12	13	1	116	0
45	1	89	0	1	89	0	1	89	0	1	89	0	1	9	41	1	89	0
51	0	0	0	0	8	0	0	47	0	0	48	0	0	44	0	0	5	0
52	0	54	0	0	54	0	0	5	0	0	73	0	0	43	0	0	10	0
53	0	56	0	0	56	0	0	56	0	0	22	0	0	56	0	0	6	0
54	1	52	33	1	52	25	1	52	35	1	52	0	1	52	0	1	5	144
Totaal	942 33			853 167			837 35			710 27			771 54			876 144		

Ports	S ³	L ⁴	S	L	S	L	S	L	S	L	S	L
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	25
5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0
											5	
Totaal	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	25
											5	

³ S = Het aantal opgeslagen containers in een welbepaalde terminal (in TEU)

⁴ L = Het aantal gehuurde of geleasde containers in een welbepaalde terminal (in TEU)

APPENDIX 3

Scenario	Basisscenario	Scenario 1 <i>Antwerpen</i>	Scenario 2 <i>Deurne</i>	Scenario 3 <i>Meerhout</i>	Scenario 4 <i>Genk</i>	Scenario 5 <i>Luik</i>												
Doelfunctie	54410,18	52920,176	53580,176	51830,176	52625,176	52150,176												
Route up	1-2-3-4-5	1-2-3-4-5	1-2-3-4-5	1-2-3-4-5	1-2-3-4-5	1-2-3-4-5												
Route down	5-4-3-2-1	5-4-3-2-1	5-4-3-2-1	5-4-3-2-1	5-4-3-2-1	5-4-3-2-1												
VO (uren)	93,00	90,33	91,67	85,73	86,27	94,80												
Links	X	load ed	empt y	X	loaded	empt y	X	loaded	empt y	X	loaded	empt y	X	loaded	empt y	X	loaded	empt y
12	1	90	0	1	50	0	1	90	0	1	90	0	1	90	0	1	90	0
13	0	105	0	0	96	0	0	105	0	0	69	0	0	105	0	0	105	0
14	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	36	0	0	0	0	0	0	0
15	0	0	0	0	48	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
21	1	54	0	1	54	0	1	30	0	1	54	14	1	54	0	1	54	0
23	1	21	0	1	30	0	1	21	0	1	0	0	1	3	0	1	21	0
24	0	21	0	0	20	0	0	21	0	0	16	0	0	0	0	0	21	0
25	0	48	0	0	0	0	0	48	0	0	74	0	0	87	0	0	48	0
31	0	141	0	0	141	0	0	143	0	0	79	0	0	120	0	0	141	0
32	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	29	0	1	0	0	1	1	0
34	1	68	0	1	68	0	1	68	0	1	37	0	1	50	0	1	68	0
35	0	58	0	0	58	0	0	58	0	0	32	0	0	58	0	0	58	0
41	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
42	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
43	1	85	0	1	85	0	1	87	0	1	52	0	1	64	0	1	111	0
45	1	89	0	1	89	0	1	89	0	1	89	0	1	49	0	1	89	0
51	0	0	0	0	0	0	0	22	0	0	48	0	0	21	0	0	0	0
52	0	54	0	0	54	0	0	30	0	0	39	0	0	54	0	0	53	0
53	0	56	0	0	56	0	0	56	0	0	56	0	0	56	0	0	31	0
54	1	52	33	1	52	33	1	52	35	1	52	0	1	52	11	1	29	82
Totaal		942	33		902	33		920	35		852	14		863	11		920	82

Ports	S ⁵	L ⁶	S	L	S	L	S	L	S	L	S	L
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Totaal	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

⁵ S = Het aantal opgeslagen containers in een welbepaalde terminal (in TEU)

⁶ L = Het aantal gehuurde of geleasde containers in een welbepaalde terminal (in TEU)

APPENDIX 4

Scenario	Basisscenario	Scenario 1 <i>Antwerpen</i>	Scenario 2 <i>Deurne</i>	Scenario 3 <i>Meerhout</i>	Scenario 4 <i>Genk</i>	Scenario 5 <i>Luik</i>												
Doelfunctie	54410,176	43030,176	50080,176	46215,176	46515,176	38995,176												
Route up	1-2-3-4-5	1-2-3-4-5	1-2-3-4-5	1-2-3-4-5	1-2-3-4-5	1-2-3-4-5												
Route down	5-4-3-2-1	5-4-3-2-1	5-4-3-2-1	5-4-3-2-1	5-4-3-2-1	5-4-3-2-1												
VO (uren)	93,00	80,27	84,60	77,67	75,53	78,33												
Links	X	load ed	empt y	X	loaded	empt y	X	loaded	empt y	X	loaded	empt y	X	loaded	empt y	X	loaded	empt y
12	1	90	0	1	9	0	1	9	0	1	90	0	1	90	0	1	90	0
13	0	105	0	0	16	0	0	126	0	0	13	0	0	64	0	0	74	0
14	0	0	0	0	13	0	0	21	0	0	79	0	0	0	0	0	18	0
15	0	0	0	0	13	0	0	39	0	0	13	0	0	41	0	0	13	0
21	1	54	0	1	5	16	1	5	0	1	54	39	1	54	25	1	54	0
23	1	21	0	1	110	0	1	0	0	1	0	0	1	1	0	1	0	0
24	0	21	0	0	8	0	0	0	0	0	3	0	0	2	0	0	81	0
25	0	48	0	0	35	0	0	9	0	0	87	0	0	87	0	0	9	0
31	0	141	0	0	14	0	0	143	0	0	14	0	0	68	0	0	122	0
32	1	0	0	1	83	0	1	0	0	1	4	0	1	0	0	1	0	0
34	1	68	0	1	68	0	1	68	0	1	7	0	1	7	0	1	68	0
35	0	58	0	0	58	0	0	58	0	0	6	0	0	58	0	0	6	0
41	0	0	0	0	11	0	0	0	0	0	40	0	0	0	0	0	14	0
42	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	44	0
43	1	85	0	1	41	0	1	87	0	1	12	0	1	12	0	1	116	0
45	1	89	0	1	89	0	1	89	0	1	89	0	1	9	0	1	9	0
51	0	0	0	0	5	0	0	47	0	0	48	0	0	48	0	0	5	0
52	0	54	0	0	82	0	0	5	0	0	89	0	0	79	0	0	10	0
53	0	56	0	0	56	0	0	56	0	0	6	0	0	56	0	0	6	0
54	1	52	33	1	52	0	1	52	35	1	52	0	1	5	7	1	5	11
Totaal		942	33	8	768	16	8	814	35	8	706	39	8	681	32	8	744	11

Ports	S ⁷ L ⁸		S L		S L		S L		S L		S L	
	S	L	S	L	S	L	S	L	S	L	S	L
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Totaal	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

⁷ S = Het aantal opgeslagen containers in een welbepaalde terminal (in TEU)

⁸ L = Het aantal gehuurde of geleasde containers in een welbepaalde terminal (in TEU)

APPENDIX 5

Scenario	Basisscenario	Scenario 1 <i>Antwerpen</i>	Scenario 2 <i>Deurne</i>	Scenario 3 <i>Meerhout</i>	Scenario 4 <i>Genk</i>	Scenario 5 <i>Luik</i>												
Doelfunctie	54410,18	50725,176	52390,176	51080,176	50850,176	49130,176												
Route up	1-2-3-4-5	1-2-3-4-5	1-2-3-4-5	1-2-3-4-5	1-2-3-4-5	1-2-3-4-5												
Route down	5-4-3-2-1	5-4-3-2-1	5-4-3-2-1	5-4-3-2-1	5-4-3-2-1	5-4-3-2-1												
VO (uren)	93,00	88,33	89,00	84,07	85,47	89,13												
Links	X	load ed	empt y	X	loaded	empt y	X	loaded	empt y	X	loaded	empt y	X	loaded	empt y	X	loaded	empt y
12	1	90	0	1	50	0	1	50	0	1	90	0	1	90	0	1	90	0
13	0	105	0	0	96	0	0	126	0	0	69	0	0	95	0	0	58	0
14	0	0	0	0	1	0	0	19	0	0	9	0	0	0	0	0	0	0
15	0	0	0	0	48	0	0	0	0	0	27	0	0	10	0	0	47	0
21	1	54	0	1	30	60	1	30	0	1	54	14	1	54	0	1	54	0
23	1	21	0	1	30	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	42	0
24	0	21	0	0	20	0	0	2	0	0	43	0	0	12	0	0	0	0
25	0	48	0	0	0	0	0	48	0	0	47	0	0	78	0	0	48	0
31	0	141	0	0	79	0	0	143	0	0	79	0	0	120	0	0	141	0
32	1	0	0	1	29	0	1	0	0	1	4	0	1	0	0	1	1	0
34	1	68	0	1	68	0	1	68	0	1	37	0	1	37	0	1	68	0
35	0	58	0	0	58	0	0	58	0	0	32	0	0	58	0	0	32	0
41	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
42	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
43	1	85	0	1	52	0	1	87	0	1	52	0	1	64	0	1	111	0
45	1	89	0	1	89	0	1	89	0	1	89	0	1	49	0	1	49	0
51	0	0	0	0	26	0	0	22	0	0	48	0	0	21	0	0	0	0
52	0	54	0	0	61	0	0	30	0	0	64	0	0	54	0	0	53	0
53	0	56	0	0	56	0	0	56	0	0	31	0	0	56	0	0	31	0
54	1	52	33	1	52	0	1	52	35	1	52	0	1	29	35	1	29	63
Totaal	942	33		845	60		880	35		827	14		827	35		854	63	

Ports	S ⁹ L ¹⁰		S L		S L		S L		S L		S L	
	S	L	S	L	S	L	S	L	S	L	S	L
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Totaal	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

⁹ S = Het aantal opgeslagen containers in een welbepaalde terminal (in TEU)

¹⁰ L = Het aantal gehuurde of geleasde containers in een welbepaalde terminal (in TEU)

APPENDIX 6

Scenario	Basisscenario			Scenario 1 <i>Antwerpen</i>			Scenario 2 <i>Deurne</i>			Scenario 3 <i>Meerhout</i>			Scenario 4 <i>Genk</i>			Scenario 5 <i>Luik</i>				
	X	load ed	empt y	X	loade d	empt y	X	loade d	empt y	X	loade d	empt y	X	loade d	empt y	X	loade d	empt y		
Doelfunctie		48360,18			44565,98			47421,78			46969,98			48201,78			41915,78			
Route up		1-2-3-5			1-2-3-4-5			1-2-3-4-5			1-2-3-4-5			1-2-3-5			1-2-3-5			
Route down		5-4-3-2-1			5-4-3-2-1			5-4-3-2-1			5-4-3-2-1			5-4-3-2-1			5-4-3-2-1			
VO (uren)		72			72			72			72			72			72			
Links	X	load ed	empt y	X	loade d	empt y	X	loade d	empt y	X	loade d	empt y	X	loade d	empt y	X	loade d	empt y		
12		1	65	0		1	9	0		1	90	0		1	62	0		1	87	0
13		0	58	0		0	18	0		0	13	0		0	58	0		0	58	0
14		0	0	0		0	13	0		0	0	0		0	0	0		0	0	0
15		0	72	0		0	13	0		0	109	0		0	75	0		0	50	0
21		1	54	0		1	54	0		1	5	0		1	54	0		1	10	0
23		1	0	0		1	40	0		1	0	0		1	0	0		1	0	0
24		0	0	0		0	24	0		0	0	0		0	40	0		0	0	0
25		0	65	0		0	87	0		0	9	0		0	50	0		0	62	0
31		0	56	0		0	75	0		0	108	0		0	14	0		0	68	0
32		1	0	0		1	0	0		1	0	0		1	0	0		1	0	0
34		0	0	0		1	0	0		1	19	0		1	7	0		0	0	0
35		1	58	0		0	58	0		0	58	0		0	6	0		1	58	0
41		0	37	0		0	18	0		0	0	0		0	52	0		0	16	0
42		0	0	0		0	0	0		0	0	0		0	0	0		0	0	0
43		1	0	0		1	19	0		1	52	0		1	0	0		1	12	0
45		0	0	0		1	37	0		1	19	0		1	47	0		0	0	0
51		0	48	0		0	48	0		0	48	0		0	48	0		0	48	0
52		0	54	0		0	54	0		0	39	0		0	81	0		0	63	0
53		0	56	0		0	56	0		0	56	0		0	14	0		0	56	0
54		1	37	0		1	37	0		1	52	0		1	52	0		1	28	0
Totaal		660	0		660	0		660		660	0			660	0			660	0	

Ports	S ¹¹ L ¹²		S L		S L		S L		S L		S L	
	S	L	S	L	S	L	S	L	S	L	S	L
1	0	0	14 2	0	0	34	0	27	0	9	0	0
2	0	0	0	142	3 4	0	2	0	7	0	9	0
3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Totaal	0	0	14 2	142	3 4	34	2	27	9	9	16 9	169

¹¹ S = Het aantal opgeslagen containers in een welbepaalde terminal (in TEU)

¹² L = Het aantal gehuurde of geleasde containers in een welbepaalde terminal (in TEU)

Ports	S ¹³ L ¹⁴		S L		S L		S L		S L		S L	
	S	L	S	L	S	L	S	L	S	L	S	L
1	0	0	0	1	0	9	0	0	0	0	0	0
2	0	0	1	0	9	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	56
5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Totaal	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	56

¹³ S = Het aantal opgeslagen containers in een welbepaalde terminal (in TEU)

¹⁴ L = Het aantal gehuurde of geleasde containers in een welbepaalde terminal (in TEU)

APPENDIX 8

Scenario	Basisscenario			Scenario 1 <i>Standby time 30min</i>			Scenario 2 <i>Standby time 60min</i>		
	X	loaded	empty	X	loaded	empty	X	loaded	empty
Doelfunctie		54410,2			53650,2			53300,2	
Route up		1-2-3-4-5			1-2-3-4-5			1-2-3-4-5	
Route down		5-4-3-2-1			5-4-3-2-1			5-4-3-2-1	
VO (uren)		93,00			95,93			96,00	
Links	X	loaded	empty	X	loaded	empty	X	loaded	empty
12	1	90	0	1	90	0	1	81	0
13	0	105	0	0	105	0	0	114	0
14	0	0	0	0	0	0	0	0	0
15	0	0	0	0	0	0	0	0	0
21	1	54	0	1	54	0	1	54	0
23	1	21	0	1	21	0	1	12	0
24	0	21	0	0	21	0	0	21	0
25	0	48	0	0	48	0	0	48	0
31	0	141	0	0	133	0	0	108	0
32	1	0	0	1	0	0	1	0	0
34	1	68	0	1	68	0	1	68	0
35	0	58	0	0	58	0	0	58	0
41	0	0	0	0	0	0	0	0	0
42	0	0	0	0	0	0	0	0	0
43	1	85	0	1	77	0	1	52	0
45	1	89	0	1	89	0	1	89	0
51	0	0	0	0	8	0	0	33	0
52	0	54	0	0	54	0	0	54	0
53	0	56	0	0	56	0	0	56	0
54	1	52	33	1	52	25	1	52	0
Totaal		942	33		934	25		900	0

Ports	S ¹⁵ L ¹⁶		S L		S L	
	S	L	S	L	S	L
1	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0	0
Totaal	0	0	0	0	0	0

¹⁵ S = Het aantal opgeslagen containers in een welbepaalde terminal (in TEU)

¹⁶ L = Het aantal gehuurde of geleasde containers in een welbepaalde terminal (in TEU)

APPENDIX 9

Scenario	Basisscenario			Scenario 1 <i>Standby time 30min</i>			Scenario 2 <i>Standby time 60min</i>		
	X	loaded	empty	X	loaded	empty	X	loaded	empty
Doelfunctie		48360,176			45955,1762			44343,976	
Route up		1-2-3-5			1-2-5			1-2-5	
Route down		5-4-3-2-1			5-4-3-2-1			5-3-2-1	
VO (uren)		72,00			72,00			72,00	
Links	X	loaded	empty	X	loaded	empty	X	loaded	empty
12	1	65	0	1	66	0	1	85	0
13	0	58	0	0	0	0	0	0	0
14	0	0	0	0	0	0	0	0	0
15	0	72	0	0	129	0	0	110	0
21	1	54	0	1	54	0	1	54	0
23	1	0	0	0	0	0	0	0	0
24	0	0	0	0	0	0	0	0	0
25	0	65	0	1	66	0	1	85	0
31	0	56	0	0	68	0	0	56	0
32	1	0	0	1	0	0	1	0	0
34	0	0	0	0	0	0	0	0	0
35	1	58	0	0	0	0	0	0	0
41	0	37	0	0	25	0	0	0	0
42	0	0	0	0	0	0	0	0	0
43	1	0	0	1	12	0	0	0	0
45	0	0	0	0	0	0	0	0	0
51	0	48	0	0	48	0	0	48	0
52	0	54	0	0	54	0	0	91	0
53	0	56	0	0	56	0	1	56	0
54	1	37	0	1	37	0	0	0	0
Totaal		660	0		615	0		585	0

Ports	S ¹⁷ L ¹⁸		S L		S L	
1	0	0	0	0	0	37
2	0	0	0	0	37	0
3	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0	0
Totaal	0	0	0	0	37	37

¹⁷ S = Het aantal opgeslagen containers in een welbepaalde terminal (in TEU)

¹⁸ L = Het aantal gehuurde of geleasde containers in een welbepaalde terminal (in TEU)

Auteursrechtelijke overeenkomst

Ik/wij verlenen het wereldwijde auteursrecht voor de ingediende eindverhandeling:

Het beheer van lege containers in een goed werkend transportsysteem

Richting: **master in de verkeerskunde-mobiliteitsmanagement**

Jaar: **2010**

in alle mogelijke mediaformaten, - bestaande en in de toekomst te ontwikkelen - , aan de Universiteit Hasselt.

Niet tegenstaand deze toekenning van het auteursrecht aan de Universiteit Hasselt behoud ik als auteur het recht om de eindverhandeling, - in zijn geheel of gedeeltelijk -, vrij te reproduceren, (her)publiceren of distribueren zonder de toelating te moeten verkrijgen van de Universiteit Hasselt.

Ik bevestig dat de eindverhandeling mijn origineel werk is, en dat ik het recht heb om de rechten te verlenen die in deze overeenkomst worden beschreven. Ik verklaar tevens dat de eindverhandeling, naar mijn weten, het auteursrecht van anderen niet overtreedt.

Ik verklaar tevens dat ik voor het materiaal in de eindverhandeling dat beschermd wordt door het auteursrecht, de nodige toelatingen heb verkregen zodat ik deze ook aan de Universiteit Hasselt kan overdragen en dat dit duidelijk in de tekst en inhoud van de eindverhandeling werd genotificeerd.

Universiteit Hasselt zal mij als auteur(s) van de eindverhandeling identificeren en zal geen wijzigingen aanbrengen aan de eindverhandeling, uitgezonderd deze toegelaten door deze overeenkomst.

Voor akkoord,

Kerremans, Jort

Datum: **27/05/2010**