

Auteursrechterlijke overeenkomst

Opdat de Universiteit Hasselt uw eindverhandeling wereldwijd kan reproduceren, vertalen en distribueren is uw akkoord voor deze overeenkomst noodzakelijk. Gelieve de tijd te nemen om deze overeenkomst door te nemen, de gevraagde informatie in te vullen (en de overeenkomst te ondertekenen en af te geven).

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

Titel: Samenwerking tussen bedrijven in intermodaal transport

Richting: 3de jaar handelsingenieur - major operationeel management en logistiek

Jaar: 2008

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.

Ik ga akkoord,

VANDERHENST, Kristel

Datum: 5.11.2008

Samenwerking tussen bedrijven in intermodaal transport

Kristel VANDERHENST

promotor :
Prof. dr. Gerrit JANSSENS

Voorwoord

Deze eindverhandeling vormt het sluitstuk van mijn opleiding als Handelsingenieur, optie Operationeel Management en Logistiek, aan de universiteit Hasselt. Ik heb geopteerd voor het onderwerp 'samenwerking tussen bedrijven in intermodaal transport' aangezien dit door de huidige vervoersproblematiek een actueel onderzoeksdomein is. Ik hoop dan ook dat deze eindverhandeling nuttige inzichten oplevert die ook in het bedrijfsleven een toepassing kunnen vinden.

Deze eindverhandeling is voor mij zeer leerrijk geweest 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 wil ik graag mijn promotor Prof. dr. Gerrit Janssens bedanken voor de professionele begeleiding van deze eindverhandeling. Vervolgens gaat bijzondere dank uit naar mevrouw An Caris die mij bijgestaan heeft gedurende het verloop van dit werkstuk. Ik wens haar van harte te bedanken voor haar raadgevingen en steun.

Verder zou ik graag mijn ouders willen bedanken voor hun morele en financiële steun gedurende de afgelopen vijf jaar van mijn opleiding. Ten slotte wil ik mijn vrienden en vriendinnen bedanken voor hun hulp en aanmoedigende woorden op moeilijke momenten en voor de fijne studententijd die ik heb mogen meemaken.

Kristel Vanderhenst
Diepenbeek, mei 2008

Samenvatting

Gedurende de laatste decennia heeft de transportsector een grote evolutie ondergaan. Enerzijds heeft een sterke economische groei een bijkomende vervoersvraag gecreëerd. Anderzijds hebben veranderingen in de supply chain en een toegenomen globalisering voor gewijzigde productie- en distributiepatronen gezorgd. De consequentie van deze ontwikkelingen is een sterke toename van het goederentransport. Volgens de Europese Commissie komt de stijging in het Europees goederenvervoer overeen met een jaarlijks groeipercentage van 2,8% gedurende de periode 1995-2006. Deze toename van het goederenvervoer wordt echter gekarakteriseerd door een onevenwichtige spreiding over de verschillende vervoersmodi. Het goederenvervoer over de weg neemt het grootste aandeel van deze groei voor zijn rekening ten koste van alternatieve vervoersmiddelen. Niet enkel de Europese Commissie maar ook nationale overheden trachten dit probleem aan te pakken door een modale verschuiving naar alternatieve vervoersmodi te stimuleren. Het intermodaal vervoer, of het vervoer van eenheidsladingen door meer dan één vervoersmodaliteit zonder de goederen bij overslag te behandelen, is de vervoerswijze die voornamelijk naar voren gebracht wordt.

Is het intermodaal vervoer echter in staat om op grote schaal de concurrentie met het unimodaal wegvervoer aan te gaan? Uit de literatuur blijkt dat de kwaliteit en de kostenefficiëntie van het intermodaal vervoer grondig dient te verbeteren om concurrentieel te zijn met het wegtransport. Tevens wordt de nadruk gelegd op het feit dat de intermodale keten meer een geïntegreerde keten moet vormen en minder een opeenvolging van losse schakels. Samenwerkingsverbanden vormen zodoende een essentieel onderdeel van de intermodale vervoerssector.

Deze eindverhandeling bestaat uit twee onderdelen, met name een literatuurstudie en een praktijkonderzoek. In de literatuurstudie wordt onderzocht welke samenwerkingsverbanden mogelijk zijn tussen de verschillende actoren binnen de intermodale keten. Als vertrekpunt wordt hiervoor het werk van Macharis (2004) genomen. Macharis (2004) maakt een onderscheid tussen twee soorten samenwerkingsverbanden, namelijk verticale en horizontale samenwerkingsverbanden. Verticale samenwerking vindt plaats tussen opeenvolgende partijen terwijl horizontale samenwerking betrekking heeft op partnerschappen tussen de verschillende partijen onderling.

Binnen de 'verticale intermodale samenwerkingsverbanden' ligt de focus de laatste jaren vooral op het hinterlandvervoer. Door een verhoogde druk op havensystemen wordt een goede ontsluiting van havens steeds belangrijker. Opdat havens hun concurrentiekracht kunnen behouden is samenwerking met het achterland onontbeerlijk. Hiernaast dient aandacht gevestigd worden op het gebruik van telecommunicatie- en informaticatoepassingen binnen het

intermodaal vervoer. Deze telematicatoepassingen bevorderen de informatie-uitwisseling en communicatie tussen opeenvolgende partijen en leiden aldus tot een betere samenwerking.

Hiernaast zijn tevens 'horizontale intermodale samenwerkingsverbanden' mogelijk. Samenwerkingsverbanden tussen de verschillende actoren onderling kunnen de kostenefficiëntie en kwaliteit van intermodale vervoersdiensten verbeteren. De nadruk ligt binnen deze groep van samenwerkingsverbanden op onderlinge samenwerking tussen terminals. Door het creëren van een terminalnetwerk en het bundelen of samenvoegen van goederenstromen wordt het mogelijk om een goederenstroom van grote omvang te genereren tussen de terminals en het havengebied. Op deze manier kunnen schaalvoordelen verkregen worden en wordt het mogelijk om een frequentere dienstverlening aan te bieden. Wat het intermodaal spoorvervoer betreft, blijkt dat het merendeel van de spoor/wegterminals opgenomen zijn in terminalnetwerken. De binnenvaart daarentegen maakt alsnog vooral gebruik van rechtstreekse pendeldiensten tussen de binnenvaartterminals en het havengebied. Uit geraadpleegde literatuur blijkt evenwel dat ook hier potentieel aanwezig is voor het opzetten van een terminalnetwerk. Over de wijze waarop de goederenstromen samengevoegd dienen te worden en de onderliggende netwerkstructuur is evenwel onenigheid binnen de literatuur.

Uit de literatuur komt naar voren dat de organisatie van intermodale transportdiensten en de onderliggende netwerkstructuur een belangrijke invloed hebben op de kostenefficiëntie en de kwaliteit van het intermodaal vervoer. De planning van vervoersdiensten binnen een netwerkstructuur is echter veel moeilijker dan de planning van rechtstreekse vervoersdiensten. Planningsmodellen die binnen de intermodale vervoerssector gebruikt worden voor de organisatie van intermodale vervoersdiensten zijn 'netwerk design' en 'service netwerk design' modellen. Deze modellen bepalen respectievelijk de structuur van een netwerk en de organisatie van transportdiensten binnen een gegeven netwerkinfrastructuur. Het is op basis van deze modellen dat de uitwerking van de praktijkstudie is gebeurd. Meer bepaald wordt voor de praktijkstudie uitgegaan van de 'path-based multi-commodity capacitated netwerk design (PMCND)' formulering van Crainic (2000).

Om de theorie aan de praktijk te toetsen beslaat het tweede deel van deze eindverhandeling een praktijkstudie. Deze praktijkstudie omvat drie onderdelen. In het eerste onderdeel wordt op basis van de PMCND-formulering een model geconceptualiseerd dat het mogelijk dient te maken voor een specifieke situatie na te gaan of het optimaal is om samen te werken of eerder het vervoer zelfstandig te organiseren. Voor de opbouw van het optimalisatiemodel wordt uitgegaan van een netwerk van twee haventerminals en twee inland terminals. Deze inland terminals kunnen ofwel het vervoer van en naar het havengebied onafhankelijk van elkaar organiseren ofwel hun goederenstromen samenvoegen en het vervoer gezamenlijk organiseren. Belangrijk is

dat het optimalisatiemodel zowel de mogelijkheid om het vervoer zelfstandig te organiseren als een gezamenlijke organisatie reflecteert.

In het tweede onderdeel van de praktijkstudie wordt aan de hand van een kostencalculatie de correctheid van het kostenmodel geverifieerd. Uit deze kostencalculatie, waarin vier logische alternatieven worden vergeleken, blijkt dat het ontwikkelde kostenmodel conform is aan de realiteit. Tevens blijkt dat de totale kostenefficiëntie verbetert wanneer de twee binnenvaartterminals een samenwerkingsverband aangaan. Het wordt eveneens duidelijk dat een verbeterde globale kostenefficiëntie niet noodzakelijk betekent dat beide terminals baat hebben bij een samenwerking. Dit toont aan dat concrete afspraken over de verdeling noodzakelijk zijn om een samenwerkingsverband in stand te kunnen houden. Ten slotte wordt de optimale oplossing voor onze concrete situatie bepaald. De optimale oplossing geeft weer dat de binnenvaartterminals best het vervoer naar het havengebied zelfstandig organiseren en de terugvaart gezamenlijk inrichten.

In het derde onderdeel van de praktijkstudie wordt een sensitiviteitsanalyse uitgevoerd. Hieruit blijkt dat de overslagkosten een grote invloed uitoefenen op de optimale oplossing. Slechts kleine efficiëntieverbeteringen kunnen ertoe leiden dat de terminals zowel voor de heen- als de terugvaart samenwerken. Indien de werkelijke overslagkosten echter hoger liggen, zal samenwerking onwaarschijnlijk zijn. Dit toont duidelijk de invloed van de overslagkosten in de intermodale transportketen aan.

Inhoudsopgave

VOORWOORD	I
SAMENVATTING	II
INHOUDSOPGAVE	V
LIJST VAN FIGUREN	VIII
LIJST VAN TABELLEN	IX
HOOFDSTUK 1: PROBLEEMSTELLING EN ONDERZOEKSOPZET	- 1 -
1.1 Probleemstelling	- 1 -
1.1.1 Omschrijving en situering praktijkprobleem	- 1 -
1.1.2 Centrale onderzoeksvraag	- 1 -
1.1.3 Deelvragen	- 2 -
1.2 Onderzoeksopzet	- 2 -
HOOFDSTUK 2: INLEIDING TOT INTERMODAAL VERVOER	- 4 -
2.1 Evolutie in de transportsector	- 4 -
2.1.1 Inleiding	- 4 -
2.1.2 Types van vervoer	- 6 -
2.1.3 Evolutie goederenvervoer in Europa en België	- 8 -
2.2 Intermodaal vervoer	- 10 -
2.2.1 Definitie van intermodaal vervoer	- 10 -
2.2.2 Opkomst intermodaal vervoer	- 11 -
2.2.3 Kostenstructuur en kritische drempelafstand	- 12 -
2.3 Het belang van eenheidsladingen	- 13 -
2.4 Organisatorische aspecten van intermodaal vervoer	- 14 -
2.4.1 De intermodale transportketen	- 14 -
2.4.2 Actoren in de intermodale keten	- 14 -
2.5 Institutionele aspecten van intermodaal vervoer	- 16 -
2.5.1 Beleidsmaatregelen getroffen in Europa	- 16 -
2.5.2 Beleidsmaatregelen getroffen in België	- 18 -
HOOFDSTUK 3: DE OPPORTUNITEITEN EN MOEILIKHEDEN VAN SAMENWERKINGSVERBANDEN	- 20 -
3.1 Samenwerkingsverbanden in de logistieke sector	- 20 -
3.2 Verticale samenwerking	- 21 -
3.3 Horizontale samenwerking	- 22 -
3.3.1 Motiverende factoren voor horizontale logistieke samenwerking	- 22 -
3.3.2 Drempels van horizontale logistieke samenwerking	- 23 -
3.3.3 Randvoorwaarden van horizontale logistieke samenwerking	- 24 -
3.3.4 Typologie van horizontale samenwerking	- 25 -
3.3.5 Mogelijke samenwerkingsvormen in de logistieke sector	- 28 -

3.4 Samenwerkingsverbanden vereist in het intermodaal vervoer	- 28 -
HOOFDSTUK 4: STRATEGISCHE ALLIANTIEVORMING IN INTERMODAAL VERVOER -	30 -
4.1 Meer integratie noodzakelijk binnen de intermodale keten	- 30 -
4.2 Verticale intermodale samenwerkingsverbanden	- 31 -
4.2.1 <i>Samenwerking tussen havens en hun achterland</i>	<i>- 31 -</i>
4.2.2 <i>Andere verticale samenwerkingsverbanden</i>	<i>- 35 -</i>
4.2.3 <i>Ketenintegratie</i>	<i>- 36 -</i>
4.3 Horizontale intermodale samenwerkingsverbanden	- 37 -
4.3.1 <i>Samenwerking tussen havens</i>	<i>- 37 -</i>
4.3.2 <i>Samenwerking tussen spoor/weg operatoren en binnenvaartterminals</i>	<i>- 38 -</i>
4.3.3 <i>Samenwerking tussen terminals</i>	<i>- 40 -</i>
4.3.4 <i>Samenwerking tussen verladere</i>	<i>- 44 -</i>
4.3.5 <i>Samenwerking tussen vrachtwagenvervoerders</i>	<i>- 46 -</i>
HOOFDSTUK 5: INTERMODALE NETWERKEN EN HET BUNDELEN VAN GOEDERENSTROMEN	- 47 -
5.1 Weergave van het intermodaal netwerk in België	- 47 -
5.1.1 <i>Intermodaal binnenvaartnetwerk</i>	<i>- 47 -</i>
5.1.2 <i>Intermodaal spoorwegnetwerk</i>	<i>- 49 -</i>
5.2 Consolidatie of bundeling van goederenstromen	- 51 -
5.2.1 <i>Omschrijving van het concept bundeling</i>	<i>- 51 -</i>
5.2.2 <i>Beoogde voordelen van het bundelen van goederenstromen</i>	<i>- 52 -</i>
5.3 Consolidatie van goederenstromen door verladere samenwerking	- 53 -
5.4 Consolidatie van goederenstromen door middel van een complex terminalnetwerk	- 56 -
5.4.1 <i>Verschillende bundelingsconcepten</i>	<i>- 57 -</i>
5.4.2 <i>Nood aan nieuwe-generatie terminals</i>	<i>- 61 -</i>
5.4.3 <i>Bundelingsconcepten toegepast in Belgische intermodale netwerken</i>	<i>- 62 -</i>
HOOFDSTUK 6: HET GEBRUIK VAN PLANNINGSMODELLEN IN INTERMODAAL VERVOER	- 66 -
6.1 Planningsproblemen in intermodaal vervoer	- 66 -
6.1.1 <i>Verschillende planningsniveaus</i>	<i>- 66 -</i>
6.1.2 <i>Strategische planning</i>	<i>- 67 -</i>
6.1.3 <i>Tactische planning</i>	<i>- 68 -</i>
6.1.4 <i>Operationele planning</i>	<i>- 68 -</i>
6.2 Netwerk design en service netwerk design	- 69 -
6.2.1 <i>Netwerk design</i>	<i>- 69 -</i>
6.2.2 <i>Service netwerk design</i>	<i>- 70 -</i>
6.3 Service netwerk design modellen	- 71 -
6.3.1 <i>Het service netwerk design probleem (SNDP)</i>	<i>- 71 -</i>
6.3.2 <i>Frequency versus dynamic service netwerk design modellen</i>	<i>- 72 -</i>

6.4	Algemene formulering van een netwerk design model	- 74 -
6.4.1	<i>Linear cost, multicommodity capacitated network design (MCND) formulering...</i>	- 74 -
6.4.2	<i>Path-based multi-commodity capacitated network design (PMCND) formulering</i>	- 77 -
6.5	Oplossingsmethoden voor netwerk design modellen	- 78 -
HOOFDSTUK 7: HET MODELLEREN VAN SAMENWERKING IN DE BINNENVAART.....		- 80 -
7.1	Probleembeschrijving	- 80 -
7.1.1	<i>Weergave situatie praktijkstudie.....</i>	- 80 -
7.1.2	<i>De opportuniteiten en moeilijkheden van een samenwerkingsverband.....</i>	- 81 -
7.1.3	<i>Plaatsing praktijktoepassing binnen typologie Verstrepen et al. (2005).....</i>	- 82 -
7.1.4	<i>Plaatsing praktijktoepassing binnen complexe bundelingsnetwerken</i>	- 83 -
7.2	Formulering van de praktijktoepassing	- 84 -
7.2.1	<i>Aanpassing van de PMCND-formulering</i>	- 85 -
7.2.2	<i>Definiëring van variabelen en parameters.....</i>	- 86 -
7.2.3	<i>Belang van de kosten.....</i>	- 93 -
7.2.4	<i>Veronderstellingen.....</i>	- 94 -
7.3	Kostencalculatie	- 95 -
7.3.1	<i>Alternatief 1: zelfstandige organisatie met twee binnenschepen</i>	- 95 -
7.3.2	<i>Alternatief 2: zelfstandige organisatie met één binnenschip</i>	- 97 -
7.3.3	<i>Alternatief 3: samenwerking met twee binnenschepen</i>	- 99 -
7.3.4	<i>Alternatief 4: samenwerking met één binnenschip</i>	- 101 -
7.3.5	<i>Vergelijking alternatief 1 en alternatief 3</i>	- 103 -
7.3.6	<i>Vergelijking alternatief 2 en alternatief 4</i>	- 104 -
7.3.7	<i>Algemene conclusie uit de vergelijking van de alternatieven</i>	- 105 -
7.3.8	<i>Uitwerking praktijkprobleem met behulp van LINGO</i>	- 106 -
7.4	Sensitiviteitsanalyse.....	- 108 -
7.4.1	<i>Sensitiviteit van de variabele overslagkosten</i>	- 109 -
7.4.2	<i>Sensitiviteit van de vaste meerkost van verbindingen (1,2) en (2,1).....</i>	- 110 -
7.4.3	<i>Sensitiviteit van de vaste kosten van de havenverbindingen</i>	- 112 -
7.4.4	<i>Sensitiviteit van de meerkost van de verbindingen die het zelfstandig vervoer van terminal 1 weergeven</i>	- 113 -
7.4.5	<i>Gezamenlijke parameterwijzigingen</i>	- 114 -
7.5	Besluit van de praktijkstudie	- 116 -
HOOFDSTUK 8: EINDCONCLUSIE.....		- 118 -
8.1	Conclusie van deze studie.....	- 118 -
8.2	Suggesties voor verder onderzoek.....	- 120 -
REFERENTIES.....		- 121 -
BIJLAGEN.....		- 131 -

Lijst van figuren

Figuur 1	Groei transport en groei BBP binnen de EU-27	- 5 -
Figuur 2	Kostenstructuur intermodaal vervoer versus unimodaal wegtransport.....	- 12 -
Figuur 3	De continentale intermodale keten	- 14 -
Figuur 4	Actoren in de intermodale transportketen.....	- 14 -
Figuur 5	Mate van samenwerking	- 26 -
Figuur 6	Ruimtelijke ontwikkeling van een havensysteem	- 32 -
Figuur 7	Antwerp Intermodal Network.....	- 34 -
Figuur 8	Binnenvaartterminals weergegeven op de kaart van België	- 48 -
Figuur 9	Evolutie van het aantal vervoerde TEU's op Vlaamse containerterminals	- 49 -
Figuur 10	Spoorwegterminals weergegeven op de kaart van België	- 50 -
Figuur 11	Bundeling van goederenstromen door verladerssamenwerking.....	- 53 -
Figuur 12	Gefragmenteerde goederenstromen versus de consolidatie van goederenstromen door middel van een hubnetwerk.....	- 54 -
Figuur 13	Het concept van een intermodaal hubnetwerk.....	- 55 -
Figuur 14	Directe of BE-bundeling versus complexe bundeling	- 58 -
Figuur 15	Zes mogelijke manieren om van de oorsprong (O) naar de bestemming (D) te transporteren in netwerk van tien knooppunten	- 59 -
Figuur 16	Vier verschillende vormen van consolidatienetwerken	- 60 -
Figuur 17	Weergave terminalnetwerk praktijktoepassing	- 81 -
Figuur 18	Grafische weergave trapsgewijze functie en lineaire benadering.....	- 91 -
Figuur 19	Grafische weergave trapsgewijze functie en kwadratische benadering.....	- 91 -
Figuur 20	Netwerk alternatief 1	- 96 -
Figuur 21	Netwerk alternatief 2.....	- 98 -
Figuur 22	Netwerk alternatief 3.....	- 100 -
Figuur 23	Netwerk alternatief 4.....	- 102 -
Figuur 24	Netwerk optimale oplossing.....	- 106 -

Lijst van tabellen

Tabel 1	Prestatie per vervoersmodus binnen de EU-27	- 8 -
Tabel 2	Modale verdeling (%) EU-27	- 9 -
Tabel 3	Prestatie per vervoersmodus in België	- 9 -
Tabel 4	Terminalgroepen in het Rijngebied	- 44 -
Tabel 5	Verklaring van de parameters die in de algemene formulering voorkomen	- 76 -
Tabel 6	Bepaling producten	- 86 -
Tabel 7	Definiëring van de verzameling paden voor elk product	- 87 -
Tabel 8	Totale vraag voor ieder product	- 88 -
Tabel 9	Vaste kosten voor elke verbinding	- 90 -
Tabel 10	Variabele transportkosten voor elke verbinding	- 92 -
Tabel 11	Variabele transportkosten voor elk product over elk pad	- 93 -
Tabel 12	Kostenberekening alternatief 1	- 96 -
Tabel 13	Kosten per terminal volgens de lineaire benadering	- 96 -
Tabel 14	Kosten volgens de trapsgewijze totale kostenfunctie	- 97 -
Tabel 15	Kostenberekening alternatief 2	- 98 -
Tabel 16	Kosten per terminal volgens de lineaire benadering	- 98 -
Tabel 17	Kosten volgens de trapsgewijze totale kostenfunctie	- 99 -
Tabel 18	Kostenberekening alternatief 3	- 100 -
Tabel 19	Kosten per terminal volgens de lineaire benadering	- 100 -
Tabel 20	Kosten volgens de trapsgewijze totale kostenfunctie	- 101 -
Tabel 21	Kostenberekening alternatief 4	- 102 -
Tabel 22	Kosten per terminal volgens de lineaire benadering	- 102 -
Tabel 23	Kosten volgens de trapsgewijze totale kostenfunctie	- 102 -
Tabel 24	Herhaling kosten alternatief 1 volgens de lineaire benadering en volgens de trapsgewijze totale kostenfunctie	- 103 -
Tabel 25	Herhaling kosten alternatief 3 volgens de lineaire benadering en volgens de trapsgewijze totale kostenfunctie	- 103 -
Tabel 26	Herhaling kosten alternatief 2 volgens de lineaire benadering en volgens de trapsgewijze totale kostenfunctie	- 104 -
Tabel 27	Herhaling kosten alternatief 4 volgens de lineaire benadering en volgens de trapsgewijze totale kostenfunctie	- 104 -
Tabel 28	Kostenberekeningen optimale oplossing	- 107 -
Tabel 29	Sensitiviteitsanalyse overslagkosten wanneer kosten toenemen	- 109 -
Tabel 30	Sensitiviteitsanalyse overslagkosten wanneer kosten afnemen	- 110 -
Tabel 31	Sensitiviteitsanalyse meerkost verbindingen (1,2) en (2,1) wanneer de kosten toenemen	- 111 -

Tabel 32	Sensitiviteitsanalyse meerkost verbindingen (1,2) en (2,1) wanneer de kosten afnemen	- 111 -
Tabel 33	Sensitiviteitsanalyse vaste kosten verbindingen (3,4) en (4,3) wanneer de kosten toenemen	- 112 -
Tabel 34	Sensitiviteitsanalyse vaste kosten verbindingen (3,4) en (4,3) wanneer de kosten afnemen	- 113 -
Tabel 35	Sensitiviteitsanalyse meerkost verbindingen (1,3), (1,4), (3,1), (4,1), (1,2) en (2,1) wanneer de kosten toenemen	- 114 -
Tabel 36	Sensitiviteitsanalyse meerkost verbindingen (1,3), (1,4), (3,1), (4,1), (1,2) en (2,1) wanneer de kosten afnemen	- 114 -
Tabel 37	Sensitiviteitsanalyse naar de gezamenlijke invloed van de variabele bundelingskosten en de vaste bundelingskosten – deel 1	- 115 -
Tabel 38	Sensitiviteitsanalyse naar de gezamenlijke invloed van de variabele bundelingskosten en de vaste bundelingskosten – deel 2	- 115 -

Hoofdstuk 1: Probleemstelling en onderzoeksopzet

1.1 Probleemstelling

1.1.1 Omschrijving en situering praktijkprobleem

De transportsector heeft de laatste decennia een enorme groei gekend. Deze groei wordt echter gekenmerkt door een gebrek aan evenwicht tussen de verschillende vervoersmodi. Uit de literatuur blijkt dat vooral het wegvervoer sterk toegenomen is ten opzichte van de andere vervoersmodi. De toegenomen vraag naar wegvervoer heeft geleid tot verhoogde congestie waardoor het goederenvervoer met vertragingen te kampen heeft en de transportkosten oplopen. Dit maakt dat de vervoersbetrouwbaarheid afneemt en dat economische centra minder vlot te bereiken zijn, wat onze economische rentabiliteit aantast. Ook negatieve effecten van het wegvervoer op het vlak van het gebruik van energie, milieuvervuiling, geluidsoverlast en verkeersveiligheid zorgen ervoor dat maatregelen zich opdringen.

Een verschuiving van het unimodaal wegvervoer naar intermodaal vervoer wordt als de oplossing voor de vervoersproblematiek voorgesteld. Is het intermodaal vervoer echter in staat om op grote schaal de concurrentie met het unimodaal wegvervoer aan te gaan? Uit literatuur blijkt dat het gebruik van het intermodaal vervoer de laatste jaren reeds sterk toegenomen is. Toch kan gesteld worden dat een sterkere marktpositie wenselijk en noodzakelijk is om aan de vraag naar duurzame mobiliteit te voldoen. Teneinde een sterkere positie te verwerven ten opzichte van het wegtransport dient de concurrentiekracht van intermodaal vervoer verder te verbeteren. In deze eindverhandeling wordt nagegaan in hoeverre en op welke manier samenwerkingsverbanden kunnen bijdragen tot de verbetering van het concurrerend vermogen van intermodaal transport.

1.1.2 Centrale onderzoeksvraag

De centrale onderzoeksvraag van deze eindverhandeling luidt als volgt:

Welke samenwerkingsverbanden tussen bedrijven zijn mogelijk in intermodaal transport en kan een planningsmodel ontwikkeld worden dat de kostenvoordelen van een samenwerkingsverband tussen terminals in rekening brengt?

1.1.3 Deelvragen

Aan de hand van enkele specifieke deelvragen wordt getracht een antwoord te formuleren op de centrale onderzoeksvraag. Deze deelvragen geven de structuur van de eindverhandeling weer en belichten elk een aspect van het onderzoek.

- Wat houdt intermodaal transport in? Welke actoren zijn actief binnen de intermodale transportketen?
- Welke doelstellingen worden nagestreefd wanneer partijen een samenwerkingsverband aangaan? Met welke moeilijkheden kunnen partners te kampen krijgen?
- Welke samenwerkingsvormen zijn mogelijk in de intermodale vervoerssector?
- Wordt heden samengewerkt in de intermodale sector? Welke partijen werken samen en hoe verloopt deze samenwerking?
- Welke intermodale netwerken bestaan in België? Op welke wijze kunnen goederenstromen samengevoegd worden in intermodale netwerken?
- Welke planningsmodellen (modellerings technieken) ondersteunen de organisatie van transportdiensten in een intermodaal netwerk?
- Is het mogelijk om de huidige modellerings technieken aan te wenden om een optimalisatiemodel te formuleren dat nagaat of het voor een gegeven situatie aantrekkelijker is om samen te werken of eerder het vervoer zelfstandig te organiseren?

1.2 Onderzoeksopzet

Deze eindverhandeling bestaat uit twee belangrijke onderdelen, enerzijds een literatuurstudie en anderzijds een praktijkstudie. De literatuurstudie heeft als doel een grondig inzicht te verkrijgen in het onderwerp samenwerking tussen bedrijven bij intermodaal vervoer. De intermodale sector heeft de laatste jaren een sterke belangstelling gekend. Derhalve wordt in de literatuurstudie getracht de meest recente literatuur aan te wenden. Tevens wordt geopteerd vooral wetenschappelijke artikelen en referaten en in mindere mate boeken te gebruiken. Op deze manier wordt getracht een beeld te schetsen van het onderwerp dat zo volledig en representatief mogelijk is. In de literatuurstudie wordt in eerste instantie nagegaan waarom verschillende partijen samenwerken en welke samenwerkingsverbanden mogelijk zijn. In tweede instantie zal een inzicht verschaft worden in bestaande bundelingsconcepten en hun onderliggende netwerkstructuren. Tot slot wordt dieper ingegaan op de planning en organisatie van vervoersdiensten in intermodale netwerken

Om de theorie aan de praktijk te toetsen zal het tweede deel van deze eindverhandeling een praktijkstudie beslaan. De praktijkstudie berust op de theorie die beschikbaar is rond de

planning van intermodale diensten. Meer bepaald wordt voor de praktijkstudie uitgegaan van de 'path-based multi-commodity capacitated network design (PMCND)' formulering van Crainic (2000). Op basis van deze PMCND-formulering wordt een model geconceptualiseerd dat het mogelijk dient te maken om na te gaan of het in een gegeven situatie optimaal is om samen te werken of eerder het vervoer zelfstandig te organiseren. Het vertrekpunt van het model is een netwerk van twee haventerminals en twee inland terminals. De inland terminals kunnen ofwel het vervoer naar het havengebied onafhankelijk van elkaar organiseren ofwel hun goederenstromen samenvoegen en het vervoer gezamenlijk organiseren. Het is belangrijk dat beide mogelijkheden duidelijk weergegeven worden in het kostenmodel. Om de correctheid van het kostenmodel te verifiëren, zal dit toegepast worden op een hypothetische situatie. Meer bepaald zal vooreerst een kostencalculatie uitgevoerd worden voor vier logische alternatieven. Teneinde de meerwaarde van het kostenmodel aan te tonen, zullen de resultaten van deze verschillende situaties met elkaar te vergeleken worden. Tevens zal de optimale oplossing berekend worden door middel van de optimaliseringssoftware LINGO. Een laatste onderdeel van de praktijkstudie beslaat een sensitiviteitsanalyse. Deze sensitiviteitsanalyse heeft als doel de gevoeligheid van de optimale oplossing voor wijzigingen in parameters na te gaan.

Tot slot dienen een aantal beperkingen geformuleerd worden. Allereerst geeft deze eindverhandeling voornamelijk de Belgische situatie weer. Tevens ligt de nadruk op intermodaal continentaal binnenvaart- en spoorvervoer. De modaliteiten luchtvaart, pijpleidingen, zeevaart en estuaire vaart worden buiten beschouwing gelaten aangezien deze slechts een beperkt aandeel innemen binnen België. Tot slot dient opgemerkt te worden dat we niet de intentie hebben om in de literatuurstudie een uitvoerige beschrijving te verschaffen van alle mogelijke samenwerkingsverbanden. Het accent wordt gelegd op een aantal samenwerkingsverbanden, die in de literatuur naar voren komen als zijnde belangrijk voor de toekomstige efficiëntie van de intermodale sector.

Hoofdstuk 2: Inleiding tot intermodaal vervoer

In dit hoofdstuk wordt in eerste instantie een situering gegeven van de globale transportsector. De belangrijkste redenen voor de groei van het goederenvervoer komen aan bod en deze groei wordt cijfermatig weergegeven. Ook de modale verdeling, of verdeling van de goederenstromen naar de verschillende vervoersmodi, wordt weergegeven voor Europa en België. In tweede instantie wordt de topic intermodaal vervoer aangekaart. Hierin wordt eerst de uitgebreide definiëring en de opkomst van intermodaal vervoer besproken. Vervolgens wordt het belang van eenheidsladingen voor het intermodaal vervoer aangehaald. Ook de organisatorische en de institutionele aspecten van het intermodaal vervoer zijn topics die in dit hoofdstuk behandeld worden. Het belangrijkste doel van dit hoofdstuk is de lezer een inzicht verschaffen van wat intermodaal vervoer juist inhoudt en de plaatsing van het intermodaal vervoer binnen de gehele transportsector.

2.1 Evolutie in de transportsector

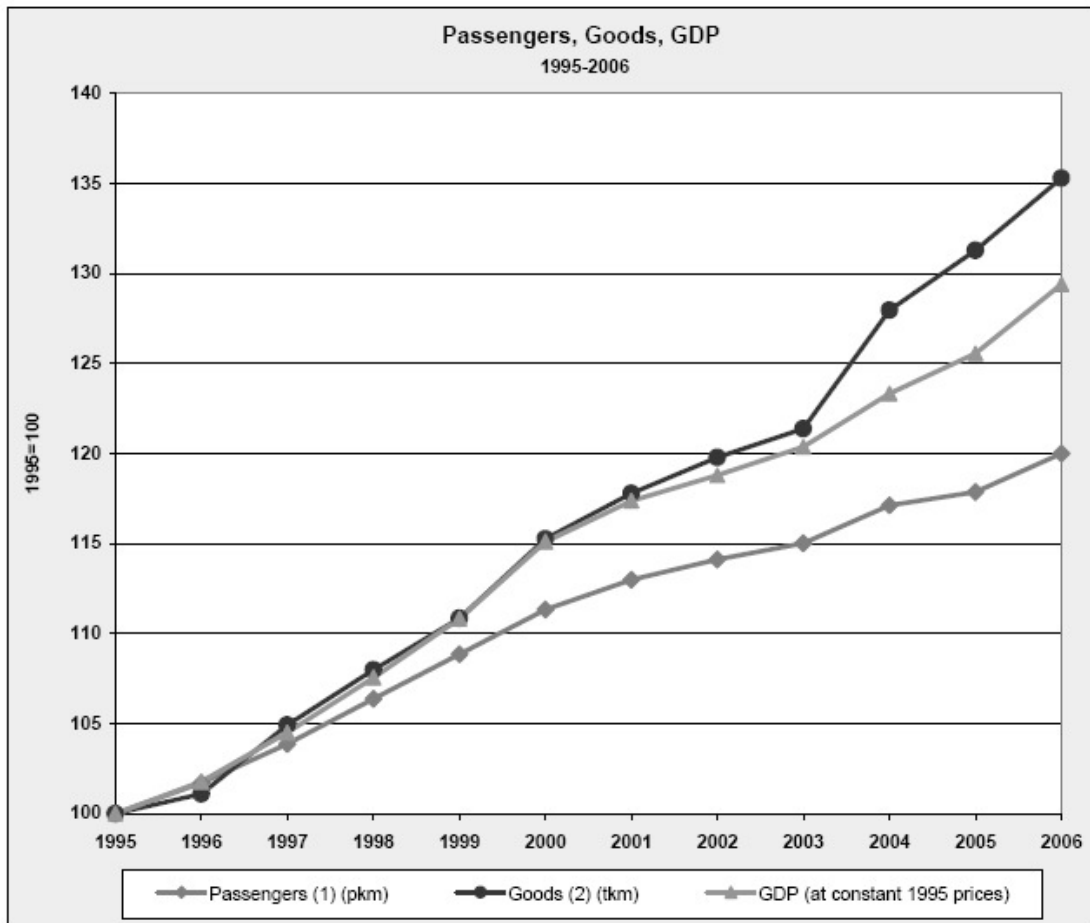
2.1.1 Inleiding

De transportsector heeft de laatste decennia grote wijzigingen en vooral een sterke groei gekend. Volgens het Witboek van de Europese Commissie (2001) is deze transporttoename grotendeels toe te schrijven aan de Europese economische groei. De sterke economische groei in Europa heeft een bijkomende vervoersvraag gecreëerd, zowel op het vlak van goederen- als personenvervoer. Daarnaast is er in het huidige bedrijfsleven sprake van een sterk toegenomen globale oriëntatie en veranderingen in de supply chain. Daar waar vroeger alles regionaal of nationaal geproduceerd en gedistribueerd werd, geldt tegenwoordig een meer internationale handelsomgeving. Dit weerspiegelt zich in toegenomen schaalvoordelen bij bedrijven door onder meer fusies en overnames. Dalende transportkosten en een gestegen transportsnelheid maken het voor bedrijven mogelijk om de productie plaats te laten vinden in economisch interessante regio's, zoals lage loonlanden. De assemblage van de eindproducten vindt daarentegen vaak plaats zo dicht mogelijk bij de eindconsument. Dit wordt eveneens gekend onder de noemer 'postponement'. Hier wordt het klantspecifiek maken van een product uitgesteld naar een zo laat mogelijk moment in de supply chain. (Beuthe, 2007; Misschaert et al., 2005)

Globalisatie wordt op zijn beurt in de hand gewerkt door de liberalisering van de wereldhandel. Door de opheffing van de Europese handelsbarrières en douanetarieven verloopt het importeren

en exporteren van goederen een stuk gemakkelijker. De opkomst van nieuwe markten heeft bovendien gezorgd voor een toename in ladingstromen. De economische ontwikkeling van landen zoals China en India en de uitbreiding van de Europese Unie met nieuwe lidstaten zorgt tevens voor een verschuiving van de goederenstromen. (Beuthe, 2007; Misschaert et al., 2005)

Figuur 1 geeft een overzicht van de toename in het vervoer van goederen en passagiers vergeleken met de groei van het bruto binnenlands product (BBP).



Figuur 1: Groei transport en groei BBP binnen de EU-27 (Bron: Europese commissie, 2007)

Uit figuur 1 blijkt dat het goederenvervoer enorm gestegen is de laatste jaren. Ook het personenvervoer en het bruto binnenlands product zijn toegenomen het laatste decennium, doch niet zo sterk als het vervoer van goederen.

Een belangrijke doelstelling in het Witboek van de Europese Commissie (2001) is het loskoppelen van de transportgroei en het Bruto Binnenlands Product. Het moet met andere woorden mogelijk worden om maatschappelijk te groeien zonder een ongewenste stijging van

de mobiliteitsgroei, en dan vooral het wegvervoer, teweeg te brengen. Indien deze twee niet losgekoppeld worden, zal er in de toekomst aanzienlijke maatschappelijke hinder en een negatieve milieu-impact veroorzaakt worden. Vlaams minister Kris Peeters stelt in Rail meets Road IV (2007) dat Vlaanderen op twee niveaus maatregelen moet treffen. Ten eerste dient een 'modal shift' of modale verschuiving van het wegvervoer naar andere vervoersmodi gestimuleerd te worden. Dit zou leiden tot een daling van het totaal aantal transportbewegingen. Ten tweede is het noodzakelijk dat elke vervoersmodaliteit apart zorgvuldig ingezet wordt. Deze maatregel dient ervoor te zorgen dat de milieu-impact van elk vervoermiddel zo minimaal mogelijk is.

2.1.2 Types van vervoer

Vandaag de dag beschikken we over een ruime keuze aan vervoersmodi, namelijk: wegvervoer, spoorvervoer, binnenvaart, kustvaart of estuaire vaart, luchtvervoer, zeevaart en vervoer per pijpleiding. Elke modus beschikt over verschillende karakteristieken die de keuze van vervoersdienst beïnvloeden. Aan de ene kant dient de kostprijs zo laag mogelijk te zijn. Aan de andere kant kan de kwaliteit van een bepaald vervoersmiddel bepalend zijn. Onder kwaliteit wordt beschikbaarheid, frequentie, capaciteit, snelheid van levering, beschikbaarheid van behandelingsvoorzieningen, toegankelijkheid, comfort, variabiliteit, betrouwbaarheid, flexibiliteit en veiligheid verstaan. Een nauwkeurige afweging van al deze verschillende factoren zal leiden tot de uiteindelijke keuze van de meest geschikte vervoersmodus.

Binnen Europa wordt voor het continentaal vervoer voornamelijk gebruik gemaakt van drie vervoerswijzen anders dan het wegvervoer, namelijk: spoorvervoer, binnenvaart en estuaire vaart. Hun respectievelijke markten variëren behoorlijk op het gebied van geografische bereikbaarheid, marktorganisatie en transportontwerp. (Henstra et al., 2007)

a) Spoorvervoer

Het grootste knelpunt van het spoorvervoer is het bestaan van technische verschillen tussen naburige Europese landen. Hiermee worden verschillen in onderhoud, voltages voor elektrische treinen, spoorbreedte en gabariet bedoeld. Daarenboven zijn de laatste jaren een groot aantal directe spooraansluitingen verdwenen. Dit alles maakt dat het spoorvervoer aan relatief belang ingeleverd heeft. (Paelinck, 2002) Tegelijkertijd heeft de toegenomen containerisatie van goederen en de introductie van rechtstreekse shuttle- of pendeltreinen geresulteerd in een aanzienlijke toename in het volume vervoerd per spoor. Het vervoer van goederen via de spoorwegen speelt tevens een belangrijke rol in het achterland transport van maritieme containers van en naar container terminals.

In dit marktsegment hebben nieuwe intreders jarenlang moeilijkheden ervaren door de toenmalige staatsmonopolies in de meeste Europese landen. De laatste jaren zijn echter een aantal hervormingen doorgevoerd. In België heeft de liberalisering van het spoorvervoer plaatsgevonden vanaf januari 2005. Het gevolg was de opsplitsing van de Nationale Maatschappij der Belgische Spoorwegen (NMBS) in drie overheidsbedrijven, namelijk het moederbedrijf Holding NMBS en de twee dochterondernemingen Infrabel NV en NMBS. Het goederenvervoer bij de NMBS wordt verschaft door twee aparte organisaties, meer bepaald ABX voor het stukgoederenvervoer en B-Cargo voor het wagenladingenvervoer. (Misschaert et al., 2005; Henstra et al., 2007)

b) Binnenvaart

Traditioneel werd voornamelijk gebruik gemaakt van de binnenvaart voor het transport over grote afstand van massa- en stukgoederen. Tegen het einde van de jaren zestig ontstonden langs de Rijn de eerste binnenvaartterminals die enkel containers behandelden. De stijging van het gebruik van containers lag aan de basis van de opkomst van de binnenvaart als vervoersmodus. Voor België is het binnenvaartvervoer slechts een recenter gebeuren. Het heeft tot de jaren negentig geduurd voordat de eerste terminals in gebruik genomen werden. Sindsdien heeft het terminallandschap zich sterk ontwikkeld en zorgt de binnenvaart voor een basisvracht en een versterkte positie van de Belgische havens. In de binnenvaart treden een groot aantal ondernemingen op wat een hevige concurrentiestrijd tot gevolg heeft. (Macharis en Verbeke, 2004)

In de literatuur wordt gesteld dat deze vervoersmodus op korte termijn veel mogelijkheden biedt vermits de huidige trafiek nog absoluut niet aan zijn maximumcapaciteit komt. Vooral op het gebied van het vervoer van grote volumes zou de binnenvaart competitief kunnen zijn met het wegvervoer. Omwille van zijn milieuvriendelijk karakter wordt de binnenvaart tevens gepromoot in het Vlaamse en Europese mobiliteitsbeleid. (Vannieuwenhuysse et al., 2006)

c) Estuaire vaart of kustvaart

Hiermee wordt bedoeld op het maritiem vervoer op relatief korte afstand, waarbij er geen oceanen doorkruist worden. De voordelen verbonden aan deze vervoerswijze zijn: het bestaan van een goedkope vervoerinfrastructuur, een lage vervoerprijs en de milieuvriendelijke aard van de modus. Vanuit België zijn via deze modus landen zoals Engeland, Ierland en Spanje vlot bereikbaar. Estuaire vaart biedt een mogelijk alternatief voor het wegvervoer over lange afstand binnen Europa. (Vannieuwenhuysse et al., 2006)

2.1.3 Evolutie goederenvervoer in Europa en België

Zoals reeds vermeld in het begin van dit hoofdstuk heeft de transportsector een grote ontwikkeling gekend de laatste jaren. In volgende tabellen wordt de evolutie weergegeven die zich afgespeeld heeft in het goederenvervoer. De cijfers worden weergegeven in tonkilometers (tonkm). Dit is het totale aantal kilometers afgelegd door een bepaalde modus vermenigvuldigd met de in ton uitgedrukte vervoerde vracht. (Vlaamse Milieumaatschappij, 2006)

Jaartal	Wegvervoer	Spoorvervoer	Binnenvaart	Pijpleidingen	Totaal
2006	1.888	435	138	135	2.595
2005	1.800	413	138	136	2.487
2004	1.747	413	136	131	2.427
2003	1.625	391	123	130	2.269
2002	1.606	382	132	128	2.248
2001	1.556	385	132	132	2.204
2000	1.519	401	133	126	2.179
1999	1.470	383	127	124	2.104
1998	1.414	392	130	125	2.062
1997	1.352	409	126	118	2.005
1996	1.303	392	118	119	1.932
1995	1.289	386	121	115	1.910
1995-2006	+ 46,5%	+ 12,6%	+ 14,5%	+ 17,2%	+ 35,8%
Per jaar	+ 3,5%	+ 1,1%	+ 1,2%	+ 1,5%	+ 2,8%
2005-2006	+ 4,9%	+ 5,2%	+ 0,0%	- 0,7%	+ 4,3%

Tabel 1: Prestatie per vervoersmodus binnen de EU-27 (in miljard tonkm) (Bron: Europese commissie, 2007)

In tabel 1 wordt de evolutie van het aantal tonkilometers weergegeven die via de verschillende vervoersmodaliteiten in de 27 landen van de Europese Unie vervoerd werden. Uit deze eerste tabel kan geconcludeerd worden dat het goederenvervoer in het algemeen met 35,8% is toegenomen over de periode 1995-2006, wat overeenkomt met een gemiddelde groei van 2,8% per jaar. Wanneer de vervoersmodi apart beschouwd worden, blijkt dat de sterkste stijging terug te vinden is bij het wegvervoer. Het wegvervoer is over de periode 1995-2006 met maar liefst 46,5% toegenomen, wat gelijk is aan een jaarlijks groeipercentage van 3,5%. Het spoorvervoer, de binnenvaart en het transport via pijpleidingen tekenden eerder een bescheiden groei op tijdens deze periode. Zij vertonen groeipercentages van respectievelijk 12,6%, 14,5% en 17,2%. Bij de spoorwegen is deze groei vooral recent teweeggebracht, namelijk in de periodes 2003-2004 en 2005-2006. De binnenvaart kende meer een gestage groei met de sterkste groeicijfers einde jaren 90 en in de jaren 2004 en 2005.

In de literatuur wordt veelvuldig gesproken over het begrip 'modal split' of modale verdeling. Hiermee wordt de verdeling van de goederenstromen over de verschillende vervoerswijzen bedoeld en deze worden in tabel 2 weergegeven. Hieruit blijkt dat binnen Europa het wegvervoer duidelijk de overheersende modus blijft voor het binnenlands goederenvervoer. Het belang van het wegvervoer is zelfs toegenomen gedurende de periode 1995-2006. Het spoorvervoer, binnenvaart en pijpleidingen daarentegen zijn relatief gezien in gebruik afgenomen over deze periode.

Jaartal	Wegvervoer	Spoorvervoer	Binnenvaart	Pijpleidingen
2006	72,70	16,70	5,30	5,20
2005	72,40	16,60	5,50	5,50
2004	72,00	17,00	5,60	5,40
2003	71,60	17,20	5,40	5,70
2002	71,40	17,00	5,90	5,70
2001	70,60	17,40	6,00	6,00
2000	69,70	18,40	6,10	5,80
1999	69,90	18,20	6,00	5,90
1998	68,60	19,00	6,30	6,10
1997	67,40	20,40	6,30	5,90
1996	67,40	20,30	6,10	6,20
1995	67,50	20,20	6,30	6,00

Tabel 2: Modale verdeling (%) EU-27 (Bron: Europese commissie, 2007)

In tabel 3 staan de belangrijkste cijfers voor het Belgische goederenvervoer weergegeven. Hier moet opgemerkt worden dat enkel de gegevens van de periode 1995-2005 beschikbaar zijn.

Jaartal	Wegvervoer	Spoorvervoer	Binnenvaart	Pijpleidingen	Totaal
2005	48,94	8,13	8,72	1,52	67,31
2004	48,63	7,69	8,46	1,53	66,31
2003	44,50	7,29	8,30	1,52	61,62
2002	44,04	7,30	8,15	1,51	60,99
2001	45,07	7,08	7,73	1,54	61,42
2000	42,05	7,67	7,31	1,62	58,65
1999	38,20	7,39	6,46	1,58	53,62
1998	35,47	7,60	6,10	1,57	50,75
1997	34,10	7,47	5,93	1,53	49,02
1996	31,43	7,24	5,79	1,45	45,92
1995	34,55	7,29	5,81	1,37	49,01
1995-2006	+ 41,66%	+11,57%	+ 50,17%	+ 10,95%	+ 37,33%
Per jaar	+ 3,79%	+ 1,05%	+ 4,56%	+ 1,00%	+ 3,39%
2004-2005	+ 0,65%	+ 5,71%	+ 3,08%	- 0,65%	+ 1,52%

Tabel 3: Prestatie per vervoersmodus in België (in miljard tonkm) (Bron: Studiedienst van de Vlaamse Regering, 2008)

Uit tabel 3 valt op dat de gepresteerde tonkilometers voor het totaal goederenvervoer toegenomen zijn met 37,33% over de periode 1995-2005. Wat de verschillende vervoerswijzen betreft, blijkt dat vooral het wegvervoer de meest gebruikte modus blijft. Gedurende de periode 1995-2005 heeft het vervoer over de weg een groeipercentage van 41,66% gekend. Opmerkelijk is de sterke stijging in de jaren 2000 en 2004. De binnenvaartsector kent een belangrijke procentuele toename van de gepresteerde tonkilometers. Deze trend kan verklaard worden door de inspanningen geleverd door de overheid om de binnenvaart attractiever te maken, zoals het kaaimurenprogramma. Met een groeipercentage van 50,17% over de periode 1995-2005 kan dus gesteld worden dat de binnenvaart een belangrijke groeisector is voor België. De hoeveelheid vervoerd met de spoorwegen schommelt gedurende de periode 1995-2005. Slechts vanaf 2003 is een groei merkbaar in het goederenvervoer per spoor.

2.2 Intermodaal vervoer

2.2.1 Definitie van intermodaal vervoer

De termen intermodaliteit, multimodaliteit en gecombineerd vervoer worden frequent door elkaar gebruikt. Voor de eenduidigheid volgen hier de verschillende definities van deze begrippen.

De begripsomschrijving die het meest gehanteerd wordt, is deze opgesteld door de CEMT (Conferentie van Europese Ministers van Transport). Krachtens de CEMT wordt er onder **intermodaal vervoer** verstaan: "*het vervoer van een geünitiseerde vracht (=eenheidslading) via meer dan één vervoersmodaliteit, waarbij de goederen zelf tijdens de overslag niet worden behandeld*". (CEMT, 1998; geciteerd in Macharis en Verbeke, 1999: 26)

Tevens wordt er in de literatuur veel gebruik gemaakt van de termen 'multimodaal' en 'gecombineerd' vervoer. Het begrip **multimodaliteit** heeft min of meer dezelfde betekenis als intermodaal transport, er wordt namelijk gebruik gemaakt van verschillende transportwijzen. Het verschil tussen intermodaal vervoer en multimodaal vervoer heeft te maken met de transportintegratie. Bij multimodaal vervoer wordt de transportketen opgevat als opeenvolgende, op zichzelf staande vervoerdiensten. Bij intermodaal vervoer echter, wordt de keten van verscheidene unimodale diensten opgevat als één vervoerdienst. Hier wordt de eenheidslading van de ene vervoersmodus op de ander geladen zonder additionele bewerkingen uit te voeren op de goederen. (Vannieuwenhuysse et al, 2006) Het gebruik van gestandaardiseerde ladingen kan dus beschouwd worden als één van de voornaamste kenmerken van intermodaal vervoer.

Ten slotte wordt er eveneens gesproken over **gecombineerd vervoer**, hetgeen een enger begrip is dan intermodaliteit. De CEMT-definitie van gecombineerd vervoer luidt als het volgt: *“intermodaal vervoer waarbij het grootste deel van het traject wordt afgelegd per spoor, kust- of binnenvaart en waarbij het aanvullende voor- en natransport over de weg zo kort mogelijk is”*. (CEMT, 1998; geciteerd door Macharis en Verbeke, 1999: 26) Hier gaat het dus vooral om de combinatie van slechts twee transportmodi, namelijk de combinatie wegvervoer - spoor enerzijds en wegvervoer – binnenvaart anderzijds. (Lowe, 2005)

De focus ligt in deze eindverhandeling vooral op het feit dat gebruik gemaakt wordt van verschillende transportmodi en dat eenheidsladingen gehanteerd worden. Dit laatste zorgt ervoor dat overslag van de ene transportmodus naar de andere zo efficiënt mogelijk verloopt. In het verdere verloop van deze eindverhandeling zal dus het begrip intermodaal vervoer gehanteerd worden.

2.2.2 Opkomst intermodaal vervoer

In het werk van Lowe (2005) worden twee sleutelfactoren voor de opkomst van het intermodaal vervoer aangehaald. Een eerste invloedrijke factor kan gevonden worden in de openstelling van de landsgrenzen en het begin van de gemeenschappelijke Europese markt in 1993. Het resultaat van de vrijheid van goederenverkeer was dat ook daadwerkelijk veel meer vracht in omloop kwam doorheen de EU. Hierdoor ontstond de vraag naar snel, efficiënt en ononderbroken transport over intercontinentale trajecten. Een tweede factor was het toegenomen bewustzijn van de Europese Commissie, nationale overheden, commerciële bedrijven en van de bevolking in het algemeen over de toegenomen impact van het wegvervoer. Negatieve effecten van het toegenomen wegvervoer waren onder andere overvolle wegennetwerken, luchtvervuiling, verkeersonveiligheid en aantasting het concurrentievermogen van de Europese economie. Zo groeide het bewustzijn dat het wegvervoer ingeperkt moest worden door een modale verschuiving naar het spoor, binnenwateren en estuaire vaart aan te moedigen overal waar dit mogelijk en economisch haalbaar is.

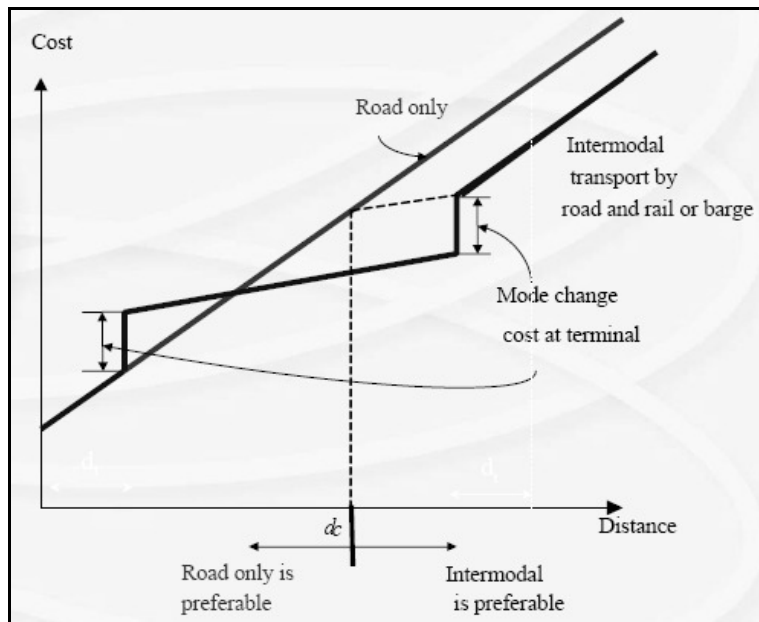
Hierbij komt nog dat technologische ontwikkelingen, zoals innovatieve overslagtechnieken, nieuwe scheepstypes, ICT-toepassingen en de containerisatie, het mogelijk hebben gemaakt dat intermodaal vervoer ook werkelijk economisch haalbaar is. Intermodaal vervoer is efficiënter geworden en dit maakt de concurrentie met unimodaal vervoer mogelijk. (Lowe, 2005)

Door in de richting van intermodaliteit te denken, worden de voordelen van het wegvervoer, in het bijzonder flexibiliteit en deur-tot-deur transport, met de voordelen van andere transportmodi gekoppeld. Zo bieden vrachtvervoer per spoor en per binnenschip bijvoorbeeld

een kostenvoordeel door het transporteren van grote ladingen over langere afstanden en zijn zij minder vervuילend voor het leefmilieu. In bijlage 1 worden de sterke en zwakke punten van elke vervoersmodus afzonderlijk meer in detail weergegeven. (Vannieuwenhuysen et al., 2006)

2.2.3 Kostenstructuur en kritische drempelafstand

Goederenoverslag is een onvermijdelijk gegeven bij intermodaal transport omdat hier ten minste twee verschillende transportmogelijkheden gecombineerd en geïntegreerd worden. Deze overslagkosten kunnen hoog oplopen en zorgen ervoor dat intermodaal vervoer enkel over langere afstanden met het wegtransport kan concurreren. In de literatuur wordt vaak gesproken over de 'break-even' afstand of kritische drempelafstand. Deze kritische drempelafstand is de afstand waarna intermodaal transport kostentechnisch interessant wordt. (Inleiding in de logistiek, vakblad voor de logistieke manager, 2007)



Figuur 2: Kostenstructuur intermodaal vervoer versus unimodaal wegtransport (Bron: Vannieuwenhuysen, 2006)

In figuur 2 worden de kosten van intermodaal transport vergeleken met de kosten van unimodaal wegtransport. Beide curven vertrekken in hetzelfde punt omdat de goederen bij de verzending in beide gevallen op een eerste vervoersmodaliteit geladen worden. Een eerste sprong in de kostencurve wordt teweeggebracht doordat de goederen bij het intermodaal transport in een terminal overgeslagen worden naar binnenschip of spoorwagon. Vervolgens vertoont de kostencurve van het intermodaal vervoer een vlakker verloop dan deze van het unimodaal wegtransport. De lage gemiddelde kosten van het hoofdtransport, namelijk de

binnenvaart- of spoorwegsectie zelf, verklaren dit vlak verloop van de kostencurve. Een tweede sprong in de kostencurve van het intermodaal vervoer volgt aangezien de goederen opnieuw overgeslagen worden. Uit deze figuur blijkt duidelijk dat het intermodaal vervoer enkel kostenvoordeliger is dan het wegvervoer indien het vervoer over langere afstanden plaatsvindt. In de literatuur wordt betoogd dat intermodaal vervoer slechts concurrentieel interessant wordt vanaf een bepaalde drempelafstand. Doch moet ook vermeld worden dat deze drempelafstand in de praktijk niet altijd geldig is. Wanneer bijvoorbeeld de Belgische intermodale terminals beschouwd worden, blijkt dat deze toch rendabel zijn en winst maken ondanks het vervoer van containers over relatief korte afstand. We kunnen dus besluiten dat een algemene break-even afstand aannemelijk is maar dat in de praktijk uitzonderingen kunnen voorkomen. (Macharis en Verbeke, 2004)

2.3 Het belang van eenheidsladingen

De essentie van efficiënt intermodaal vervoer ligt in het gebruik van een systeem van eenheidsladingen. Op deze manier gebeurt de noodzakelijke overslag van de ene transportmodaliteit naar de andere op een zo doeltreffend mogelijke manier. De goederen zelf worden hierbij niet behandeld. Kenmerkend voor eenheidsladingen is de eenvormigheid van afmeting en hun compatibiliteit met zowel de laadmogelijkheden van de vervoersmodaliteiten als aan de laad- en losinstallaties. In de praktijk komen verschillende soorten eenheidsladingen voor. De meest voorkomende zijn containers, wissellaadbakken of swapbodies, opleggers en rolling road (volledige vrachtwagens) (Lowe, 2005)

De oorsprong van containerisatie ligt in de maritieme sector en er wordt verondersteld dat het conventionele stukgoed stilletjes aan gaat verdwijnen ten voordele van containers. De "International Standard Organisation" (ISO) hebben standaardafmetingen voor deze containers ontwikkeld en streven hiermee een zo groot mogelijke uniformiteit na. De meest gehanteerde containers hebben een lengte van 20 voet of een lengte van 40 voet. De container van 20 voet wordt universeel erkend als standaardcontainer en wordt ook wel Twenty feet Equivalent Unit (TEU) genoemd. Deze TEU wordt als eenheidsmaat gebruikt en hiermee worden alle andere varianten uitgedrukt. In het containervervoer wordt ook veelvuldig gebruik gemaakt van de termen less than container loads (LCL) en full container loads (FCL). LCL betekent dat zendingen samengevoegd worden in één ladingseenheid. Bij FCL daarentegen wordt de container slechts op eindbestemming geopend.

2.4 Organisatorische aspecten van intermodaal vervoer

2.4.1 De intermodale transportketen

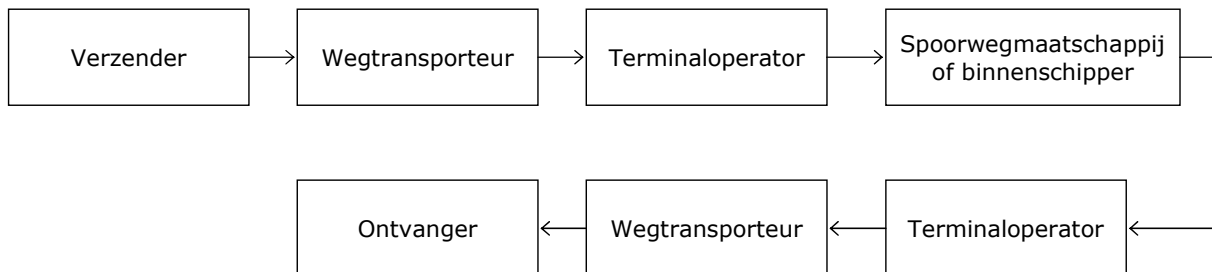
Bij intermodaal vervoer is het noodzakelijk dat er efficiënt gebruik gemaakt wordt van de verschillende transportmodi en dat deze optimaal op elkaar afgestemd worden. Op deze manier wordt een geïntegreerde en naadloze keten van opeenvolgende vervoersmiddelen verkregen. Een belangrijke factor bij intermodaliteit is dat de verlader deze keten als één vervoersdienst opvat. In figuur 3 wordt de continentale intermodale transportketen schematisch weergegeven. (Macharis en Verbeke, 1999)



Figuur 3: De continentale intermodale keten (Bron: Dullaert et al., 2004)

Binnen deze keten kunnen drie grote onderdelen onderscheiden worden. In de eerste plaats is er het voortransport waarbij de goederen van de verzender naar een terminal vervoerd worden. Dit voortransport gebeurt meestal met behulp van het wegvervoer. Vervolgens vindt het hoofdtransport plaats. Hierbij worden goederen per spoor, binnenvaart of kustvaart naar de finale terminal vervoerd. Ten slotte worden de goederen door middel van het natransport, weerom via het vervoer over de weg, aan de uiteindelijke ontvanger afgeleverd.

2.4.2 Actoren in de intermodale keten



Figuur 4: Actoren in de intermodale transportketen (Bron: Macharis en Verbeke, 1999)

In figuur 4 worden de verschillende actoren weergegeven die actief zijn in de intermodale keten. De intermodale transportketen start bij de **verzender** of de opdrachtgever van het transport. De verzender is de producent of verlader die de goederen aanbiedt voor verzending aan de intermodale operator. Verladers vervoeren doorgaans hun goederen niet zelf maar laten het transport uitvoeren door een rederij, een expediteur, een binnenvaartoperator, een railoperator, een terminaloperator of een wegvervoerder. De verzender dient de goederen op tijd en in de juiste staat af te leveren bij de ontvanger. (Macharis, 2004)

In de scheepvaart wordt gesproken van **carrier's haulage** wanneer de verlader een beroep doet op een rederij voor de organisatie van het goederentransport. De scheepvaartlijn of "carrier" verzorgt het totale transport, inclusief het voor- en natransport door middel van alle combinaties van transportmiddelen. Wanneer gebruik gemaakt wordt van **merchant haulage** wordt de controle over het voor- en natransport behouden door expediteurs of verladers. Meestal is dit het geval wanneer de handelaars zo snel mogelijk hun goederen in eigen beheer willen brengen. (Macharis, 2004)

Veelal wordt een **expediteur-integrator** ingeschakeld om het transport te organiseren. Deze organiseert de gehele intermodale door-to-door keten, zonder de eigenaar te zijn van één van deze onderdelen. De expediteur zorgt met andere woorden enkel voor de planning van het transport en voor de afwikkeling van formaliteiten. (Macharis, 2004)

Indien het hoofdtransport via de binnenvaart plaatsvindt, wordt dit transport uitgevoerd door een **binnenschipper**. De verlader gaat in dit geval contact opnemen met een barge- of binnenvaartoperator. Een barge-operator is een bedrijf dat het transport over de binnenwateren, de overslag en het voor- en natransport organiseert. Deze maakt in samenwerking met de schipper de volgorde op waarin de terminals worden aangedaan. Voor de opstelling van deze planning zijn aspecten als openingstijden, hoeveelheden en samenstelling van de lading bepalende elementen. Het kan ook zijn dat de barge-operator samenvalt met de **terminaloperator**. Wanneer dit het geval is dan worden de containers door een door de terminal ingerichte lijndienst meegenomen. Het voor- en natransport gebeurt in deze situatie door middel van eigen trekkers of door tussenkomst van lokale wegvervoerders, georganiseerd door de terminaloperator. Wanneer sprake is van grote volumes is het gebruikelijk dat rechtstreekse afspraken gemaakt worden tussen de verlader en de terminaloperator. De verlader organiseert dan zelf het vervoer en roept de tussenkomst in van de terminaloperator voor het voor- en natransport en de overslag. Ten slotte is het ook mogelijk dat de verlader zelf het volledige transport uitvoert door middel van een eigen of gehuurde kade. (Macharis, 2004)

Indien het hoofdtransport via de spoorwegen plaatsvindt, wordt dit gedeelte door **spoorwegoperatoren** of ferroutage-maatschappijen verzorgd. Deze bedrijven beschikken zelf

niet over locomotieven maar kopen capaciteit aan bij de spoorwegvervoerders. De spoorwegoperatoren organiseren shuttlediensten op vaste bestemmingen, en dit voor eigen rekening en risico. (Macharis, 2004; Rail Cargo, 2007)

Voor-en natransport zal doorgaans onontbeerlijk zijn in de intermodale transportketen en wordt meestal verzorgd door de **wegtransporteurs**. Voor-en natransport vindt meestal plaats tussen een terminal en de verzender of ontvanger. (Macharis, 2004)

2.5 Institutionele aspecten van intermodaal vervoer

De promotie van intermodaal transport is een sleutelstelling in het beleid van zowel de Belgische Federale overheid als de Europese Unie. Vermits verwacht wordt dat de hoeveelheid goederen- en personenvervoer over de weg de komende jaren nog verder zal toenemen, zullen de externe kosten en de congestie op de wegen eveneens toenemen. Bijgevolg hebben de Europese Unie en de federale overheid verscheidene beleidsmaatregelen getroffen om de ontplooiing van de intermodale sector te stimuleren. (Macharis en Verbeke, 2004)

2.5.1 Beleidsmaatregelen getroffen in Europa

De Europese regelgeving betreffende het intermodaal vervoer is van groot belang. De reden hiervoor is dat het land, en dus ook de wetgeving, waar de intermodale transportketen ontstaat vaak niet dezelfde is als het bestemmingsland. Zodoende zal het vervoersbeleid meer en meer een bevoegdheid van Europa worden. (Macharis en Verbeke, 2004)

Op Europees vlak is er het laatste decennium veel commotie rond de vervoersproblematiek. De zoektocht naar een nieuw evenwicht tussen de verschillende vervoersmodaliteiten is een belangrijk punt in het beleid van de Europese Commissie. De Europese Commissie heeft met de publicatie van het **witboek** in 2001 een duidelijk beeld gegeven van de huidige vervoerssituatie. Het witboek bevat een actieprogramma met een heel resem beleidsmaatregelen die uitgevoerd moeten worden tegen het jaar 2010. Halfweg het jaar 2006 is een herziening gekomen van het witboek. De herziening neemt evoluties zoals een zwakke economische groei, sterke internationale concurrentie, hoge brandstofprijzen en meer veiligheid in aanmerking. Doch de algemene doelstellingen, namelijk het bereiken van concurrentiële, gewaarborgde, veilige en milieuvriendelijke mobiliteit, blijven behouden. (Europese Commissie, 2001, 2006a)

Verder zijn een aantal projecten opgezet die de inburgering van het intermodaal transport ten goede moeten komen. Zo is bijvoorbeeld het communautaire steunprogramma **Marco Polo** opgestart. Dit concept beoogt de transport- en logistieke industrie te assisteren bij de totstandbrenging van een verschuiving van het vrachtvervoer over de weg naar vervoer per spoor en water. Initiatieven die bijdragen tot een modal shift en innoverende projecten die leiden tot een milieuvriendelijkere logistieke organisatie van bedrijven worden financieel gesteund. (Eurolink Amsterdam, 2003; Vlaamse Milieumaatschappij, 2006).

Een ander belangrijk programma opgestart door de Europese commissie zijn de Trans-Europese transportnetwerken, ook wel **TEN-T's** genoemd. Het doel van deze netwerken is om de nationale transportsystemen van elk van de leden van de Europese Unie te integreren in een samenhangend Europees netwerk. Met de TEN-T fondsen worden prioritaire infrastructuurinvesteringen gefinancierd met als doel de verbetering van de "interconnectiviteit" en "interoperabiliteit" van nationale netwerken. De TEN-T fondsen worden hoofdzakelijk gebruikt voor spoorwegprojecten. (Lowe, 2005; Henstra et al., 2007)

Ten slotte zijn in het kader van het **Vierde, Vijfde, Zesde** en recent ook **Zevende Kaderprogramma** talrijke studies en onderzoeksprojecten over intermodaliteit aangevat. (Macharis en Verbeke, 2004)

Daarnaast zijn verschillende maatregelen genomen die bijdragen tot de ontwikkeling van het concurrentievermogen van de spoorwegen. De Europese Unie heeft in 1991 een richtlijn uitgevaardigd die moet leiden tot een transparanter gebruik van de Europese spoorwegen. Deze richtlijn lag mede aan de basis van de liberalisering van de spoorwegen van de Europese Unie. Het doel is dat exploitanten van goederenvervoer vrije toegang hebben tot alle spoorwegennetwerken in de Europese Unie en Zwitserland. In dit opzicht wordt van het **open access-principe** gesproken. (Lowe, 2005)

Ter bevordering van de binnenvaart in Europa dient het actieprogramma **NAIADES** vernoemd te worden. NAIADES staat voor Navigation And Inland Waterway Action and Development in Europe en is opgesteld voor de periode 2006-2013. In dit plan wordt gesteld dat de binnenvaart over potentieel beschikt om een relevant alternatief te vormen voor het wegvervoer. Doch om dit potentieel optimaal te kunnen benutten, is het noodzakelijk dat een aantal randvoorwaarden verbeterd worden. Hiertoe worden maatregelen getroffen op vijf strategische gebieden, namelijk: het ontwikkelen van betrouwbare binnenvaartdiensten in nieuwe markten, een modernisatie van de vloot, het stimuleren van werkgelegenheid, de verbetering van het imago en de samenwerking en ten slotte het verschaffen van een toereikende infrastructuur. Binnen elk gebied worden concrete acties genomen en instrumenten voorgesteld die tot een uiteindelijke verbetering binnen deze strategische gebieden zullen leiden. Vervolgens wordt in

het NAIADES plan een herziening van de organisatiestructuur voorzien om de uitvoering van het plan beleidsmatig te ondersteunen. Ook Vlaanderen zal het NAIADES plan onderschrijven en implementeren. (Europese Commissie, 2006b)

Op het vlak van het wegvervoer zijn Eurovignetten ingevoerd en maatregelen genomen. Meer bepaald zijn inspanningen geleverd voor het bepalen van een maximum toegelaten laadvermogen, initiatieven betreffende snelheidsbeperkingen en rij- en rusttijden, enzovoorts. Door de wetgeving die van toepassing is op het wegvervoer te verstrengen, wordt het intermodaal vervoer tevens op indirecte wijze aangemoedigd. (Macharis en Verbeke, 2004)

2.5.2 Beleidsmaatregelen getroffen in België

Op nationaal niveau heeft de federale overheid de bevoegdheid over de spoorwegen, terwijl de binnenvaart op gewestelijk niveau geregeld wordt. (Vlaamse Milieumaatschappij, 2006)

In 1997 heeft de federale overheid de Europese richtlijn in Belgisch recht omgezet en een institutionele scheiding doorgevoerd tussen het spoorvervoer en de infrastructuur. Hierdoor heeft de NMBS zijn monopoliepositie op het aanbod van vervoerdiensten per spoor verloren. (Macharis en Verbeke, 1999) De federale overheid heeft sinds 2005 een subsidieregeling getroffen om het binnenlands spoorvervoer te stimuleren. Hierbij wordt elke container die per spoor wordt vervoerd over een afstand van minstens vijftig kilometer gesubsidieerd met 20 euro per container en bijkomend 0,4 euro per kilometer. In totaal wordt hiervoor jaarlijks een budget van 30 miljoen euro uitgetrokken. (Vlaamse Milieumaatschappij, achtergronddocument, 2006)

In de binnenvaartsector werd door de federale overheid het belangrijk communautair initiatief genomen de markt te liberaliseren (einde 1998). Hiermee werd het vroegere toerbeurtsysteem opgeheven en werden vrije prijsonderhandelingen mogelijk. Na deze liberalisering is de organisatie van het beleid van de binnenvaart anders georganiseerd en is de bevoegdheid grotendeels naar de gewesten gegaan. (Macharis en Verbeke, 2004)

In het kader van het Vlaamse overheidsbeleid is de laatste jaren sterk geïnvesteerd in projecten en infrastructuurwerken voor de binnenvaart met als doel het transport over de binnenwateren te stimuleren. Zo is bijvoorbeeld in 1998 de financiële steunregeling voor het kaaimurenprogramma opgestart. Hiermee worden laad- en losinstallaties langs Belgische binnenwateren gebouwd. Andere voorbeelden van projecten zijn de kalibrering van de Leie en de modernisering van het Albertkanaal. Tevens werden de vaarrechten in de binnenvaart tot een tiende van de oorspronkelijke prijs verlaagd. Ten slotte kan de binnenvaart sinds midden

2007 van een subsidieregeling genieten. Voor elke container die de binnenvaartterminals behandelen, wordt 20 euro verkregen. (Macharis en Verbeke, 2004; Promotie binnenvaart Vlaanderen, 2007)

Tevens moet vermeld worden dat de Vlaamse regering de transportproblematiek in 2006 concreet opgenomen heeft als uitdaging in haar beleidsverklaring 'Vlaanderen in Actie'. Concreet houdt dit in dat een aantal projecten geformuleerd worden ter verbetering van deze problematiek. Hieruit blijkt duidelijk dat transport een belangrijke positie inneemt in Vlaanderen en dat een duurzame uitbouw noodzakelijk is voor de Vlaamse maatschappij.

De Vlaamse overheid biedt eveneens instrumenten zoals VMOS en PROMOS aan voor het uitvoeren van logistieke doorlichtingen of modal scans met als doel een modal shift te realiseren. Hierbij worden goederenstromen van bedrijven doorgelicht om realistische vervoersalternatieven te zoeken. (Vlaamse Milieumaatschappij, 2006)

In het volgende hoofdstuk wordt de overgang gemaakt naar samenwerking. In dit hoofdstuk wordt besproken waarom bedrijven beslissen om samen te werken. Het belang van samenwerking voor de logistieke sector en voor het intermodaal vervoer zijn eveneens onderwerpen die aan bod komen. Ten slotte zal een typologie van Verstrepen et al. (2005) voor geïntroduceerd worden die op een duidelijke manier de essentie van samenwerking weergeeft.

Hoofdstuk 3: De opportuniteiten en moeilijkheden van samenwerkingsverbanden

Reeds enkele decennia geleden werd vastgesteld dat synergie of competitief voordeel kan ontstaan wanneer meerdere bedrijven hun krachten bundelen en gaan samenwerken. Een verklaring hiervan kan gevonden worden door de bedrijfsomgeving te beschouwen. Deze wordt gekenmerkt door een globalisering van markten, toenemende concurrentie, sterke technologische vooruitgang, levenscycli van producten die steeds korter worden, nieuwe methodes van productontwikkeling, snelle marktintroducties en bedrijven die steeds meer gespecialiseerd zijn op één bepaald domein. Om te kunnen overleven en te kunnen welvaren in deze sterk veranderende en competitieve bedrijfsomgeving kan het noodzakelijk zijn dat organisaties coöperatieve allianties aangaan.

In dit hoofdstuk wordt het onderwerp samenwerking aangekaart. Eerst wordt dieper ingegaan op samenwerkingsverbanden in de logistieke sector. Hier wordt een onderscheid gemaakt tussen horizontale samenwerking enerzijds en verticale samenwerking anderzijds. Beide concepten komen in dit hoofdstuk uitgebreid aan bod. Tevens wordt de typologie van Verstrepen et al. (2005) besproken. Deze typologie geeft op een duidelijke manier de essentie van samenwerking weer. Ten slotte wordt het belang van samenwerking in intermodaal vervoer aangegeven.

3.1 Samenwerkingsverbanden in de logistieke sector

Vos et al. (2002) stellen in hun onderzoek vast dat samenwerkingsverbanden de laatste jaren steeds meer voorkomen in de logistieke sector. Samenwerking wordt hier beschouwd als mogelijke oplossing voor logistieke knelpunten en als manier om efficiënte logistieke netwerken te bekomen. Zo is de logistieke sector kwetsbaar voor externe evoluties, zoals stijgende brandstofkosten, prijsdalingen en congestie. Deze sector wordt tevens gekenmerkt door hoge vaste kosten en kapitaalinvesteringen, een sterk fluctuerende vraag, aanzienlijke internationale concurrentie en een gebrek aan evenwicht in de internationale materialenstromen. Samenwerkingsverbanden kunnen bijgevolg als een mogelijke remedie gezien worden voor deze uitdagingen.

In de literatuur wordt globaal gezien een onderscheid gemaakt tussen horizontale en verticale samenwerking. Verticale samenwerking vindt plaats tussen opeenvolgende schakels in de logistieke keten terwijl horizontale samenwerking betrekking heeft op samenwerkingsverbanden

tussen partijen die zich op dezelfde hoogte in de keten of supply chain bevinden. Verticale samenwerkingsverbanden vallen zodoende onder de noemer van Supply Chain Management (SCM) en betreffen het coördineren van de achtereenvolgende stappen in de bedrijfskolom. Horizontale overeenkomsten daarentegen, vinden plaats tussen organisaties die elkaars directe of potentiële concurrenten zijn en gelijksoortige of aanvullende logistieke activiteiten uitvoeren. In dit opzicht wordt ook gesproken van allianties, collaboratieve netwerken en partnerships. (Verstrepen, 2005)

In het verleden is op het vlak van verticale samenwerking en supply chain management reeds veel academisch onderzoek gebeurd. De focus van dit onderzoek ligt vooral op het identificeren van potentiële baten, kritische succesfactoren en criteria voor partnerselectie. Het meest bestudeerde gebied binnen logistieke verticale samenwerking betreft het inhuren van diensten van logistieke dienstverleners door verzenders of het uitbesteden van een deel van de logistieke activiteiten. Het thema horizontale samenwerking daarentegen heeft slechts recent de aandacht getrokken binnen de logistieke sector. Dit type samenwerking wordt in praktijk echter steeds meer relevant, aangezien het aantal initiatieven op het gebied van horizontale samenwerking toenemen. Enkele bekende studies op het vlak van horizontale samenwerking zijn uitgevoerd in opdracht van het Vlaams Instituut voor de Logistiek. Zo heeft Verstrepen (2005) een handleiding en stappenplan ontwikkeld voor logistieke ondernemingen die een samenwerkingsverband overwegen. Een andere studie is uitgevoerd door Vos et al. in 2002-2003 voor de organisatie TNO Inro. Vos et al. pogen de synergievoordelen in kaart te brengen die ontstaan in logistieke netwerken. In deze studie is eveneens een stappenplan ontwikkeld voor bedrijven die interesse hebben in logistieke samenwerking. Hiernaast hebben Cruijssen et al. (2005, 2007) een onderzoek gedaan naar de potentiële voordelen van en belemmeringen voor horizontale samenwerking in Vlaanderen.

3.2 Verticale samenwerking

Simchi-Levi et al. (1999) omschrijven supply chain management als *“the set of approaches utilized to efficiently integrate suppliers, manufacturers, warehouses, and stores, so that merchandise is produced and distributed in the right quantities, to the right locations, and at the right time, in order to minimize system wide costs while satisfying service level requirements”*. Deze definitie geeft aan dat supply chain management tracht te zorgen voor een naadloze aaneenschakeling van partijen die werkzaam zijn op verschillende niveaus van de supply chain met als doel onnodige logistieke kosten te voorkomen. De term ‘supply chain’ is oorspronkelijk afkomstig van het beeld dat toont hoe organisaties aan elkaar gekoppeld zijn, gezien vanuit een bepaalde organisatie. Hier geldt de opmerking dat de hedendaagse supply chain meestal de

vorm van een netwerk aanneemt in plaats van een lineaire rangschikking van actoren. (Chase et al., 2006)

Met de supply chain wordt een gecoördineerd systeem van organisaties, mensen, activiteiten, informatie en hulpbronnen bedoeld die ervoor zorgen dat een product of dienst van de leverancier naar de consument beweegt. Met andere woorden, supply chain activiteiten transformeren materialen en componenten in afgewerkte producten die aan de eindconsument geleverd worden.

Het thema supply chain management is de dag van vandaag een populair onderwerp en heeft aanzienlijke aandacht verkregen in de literatuur. Een interessant werk dat supply chain management als onderwerp heeft, is dat van Chen en Paulraj (2004). Chen en Paulraj stellen vast dat het groeiende belang van supply chain management talloze onsamenhangende onderzoeken teweeggebracht heeft die telkens een ander aspect belichten. In het onderzoek van Chen en Paulraj wordt de literatuur over supply chain management grondig geanalyseerd. Vervolgens worden de meest relevante bevindingen geïdentificeerd en geïntegreerd in een empirisch significant onderzoeksraamwerk. Met dit raamwerk trachten zij managers te helpen om zowel problemen als kansen van supply chain management beter te begrijpen. Aangezien het artikel van Chen en Paulraj een goed overzichtsartikel is dat duidelijk de essentie van supply chain management weergeeft, wordt voor meer informatie over supply chain management naar dit artikel verwezen.

3.3 Horizontale samenwerking

3.3.1 Motiverende factoren voor horizontale logistieke samenwerking

In het onderzoek van Verstrepen et al. (2005) wordt een onderscheid gemaakt tussen interne en externe motieven die een samenwerkingsverband drijven. Interne motieven leven binnen de organisatie en hieronder worden managementbeslissingen en -doelstellingen verstaan. Interne motieven komen meestal voort uit de nood om een waargenomen kwetsbaarheid te versterken of de set van beschikbare middelen van de organisatie te vergroten. De onderliggende doelstelling is veelal het beschermen of het verbeteren van de economische situatie van de organisatie. In het onderzoek van Verstrepen et al. (2005) worden vijf categorieën van interne factoren geïdentificeerd. Deze zijn: een beter gebruik maken van de bestaande infrastructuur en middelen, het doen toenemen van de capaciteit, het uitbreiden van de geografische dekking, het verbeteren van de dienstverlening en diversificatie. In dit zelfde onderzoek zijn ook externe motieven of uitdagingen naar boven gekomen. Deze hebben vooral te maken met

veranderingen die zich voordoen in de klantenbasis, de economische omgeving en de globale industrie. Voor elk van deze uitdagingen zou het aangaan van een samenwerkingsverband een mogelijke oplossing kunnen bieden. Voor een meer gedetailleerde bijschrijving van de interne en externe motieven wordt verwezen naar bijlage 2.

Om een samenwerking te doen slagen, is het noodzakelijk dat de gemeenschappelijke baten verkregen door de samenwerking hoger zijn dan de som van de individuele baten zonder samenwerking. In dit geval wordt gesproken van het verkrijgen van een synergie door samen te werken. Indien geen synergievoordelen behaald worden, zal een samenwerking onmogelijk zijn en in vele gevallen ontbonden worden. (Verstrepen, 2005) Ook Ensign (1998) en Cruijssen et al. (2005) stellen dat het vooruitzicht op de realisatie van een netto positieve waarde de drijvende kracht achter de vorming van een samenwerkingsverband is.

3.3.2 Drempels van horizontale logistieke samenwerking

Een samenwerking is echter zeker niet vanzelfsprekend en het vereist bepaalde vaardigheden om een samenwerkingsrelatie in te richten en aan te sturen. Daarenboven is een samenwerking niet enkel voordelig maar zijn ook risico's en nadelen verbonden aan een samenwerkingsverband. In de literatuur wordt relatief weinig aandacht besteed aan de obstakels van samenwerkingsverbanden. Cruijssen et al. (2005) vernoemen als belangrijkste belemmeringen de ingewikkelde planning van de vereiste activiteiten, het feit dat het moeilijk is om de gerealiseerde output te meten en het risico op opportunisme door de partner(s). In Cruijssen et al. (2007) worden deze belemmeringen nog aangevuld. Hier wordt vermeld dat een horizontale samenwerking moeilijk te coördineren is en dat specifieke ICT noodzakelijk is, wat voor hoge kosten kan zorgen. Tevens kunnen op het vlak van onderhandelingen onenigheden of ongelijke posities ontstaan.

In het werk van Verstrepen (2005) wordt eveneens aandacht besteed aan de moeilijkheden van samenwerkingsverbanden. De voornaamste moeilijkheid die hier aangehaald wordt, is het feit dat de verdeling van de opbrengsten van de samenwerking niet eenduidig is. Ook het vooraf inschatten van de baten van een samenwerking wordt een moeilijk punt bevonden. Hierdoor lijkt het alsof de voordelen van een samenwerkingsverband beperkt zijn en zal minder snel tot een samenwerking overgegaan worden. Het onderzoek van Vos et al. (2002) geeft eveneens aan dat de verdeling van de benodigde investeringen en nagestreefde voordelen een fundamenteel punt is voor het slagen van het samenwerkingsverband.

Ten slotte dient vermeld te worden dat de keuze van een samenwerkingspartner niet evident is, maar evenwel essentieel voor het welslagen van het samenwerkingsverband tussen de partners.

Dit omdat een reëel risico op opportunisme door de partner(s) bestaat, dat wil zeggen dat de acties van de partner niet conformeren aan de bedoeling van de samenwerking. Uit het onderzoek van Verstrepen (2005) bleek dat de voorkeur uitgaat naar een verafgelegen partner omdat op deze manier de eigen geografische dekking minder in het gevaar komt en conflicten geminimaliseerd worden. Bij kleinere bedrijven bestaat vooral de vrees om door een grote partner opgeslorpt of onderdrukt te worden bij een samenwerkingsverband. De drempel om een samenwerkingsverband aan te gaan, ligt hoger voor kleinere ondernemingen dan voor grotere bedrijven.

3.3.3 Randvoorwaarden van horizontale logistieke samenwerking

In Verstrepen (2005) wordt geduïd op het feit dat een horizontaal samenwerkingsverdrag gebaseerd is op wederzijdse welwillendheid en dat hiërarchische machtsrelaties ontbreken. Hiermee wordt bedoeld dat het slagen van een samenwerking afhankelijk is van de handelingen en intenties van de samenwerkende partijen. Het feit dat deze zowel concurrenten als partners zijn, is in dit geval een bemoeilijkende factor. Hierdoor kunnen ze namelijk meer in hun eigenbelang, of opportunistisch, handelen in plaats van het groepsbelang voorop te stellen. Dit kan de samenwerking in het gedrang brengen en een aantal randvoorwaarden dienen vervuld te zijn opdat een samenwerking goed kan functioneren. Bij verticale samenwerking maakt de aanwezigheid van hiërarchische machtsrelaties dat het vertrouwen tussen partners minder belangrijk is.

De voornaamste randvoorwaarden van samenwerkingsverbanden zijn 'vertrouwen' en 'middelen'. Wanneer geen minimumhoeveelheid van beiden aanwezig is, blijkt geen enkele vorm van samenwerking realiseerbaar. Ring en Van de Ven (1994) omschrijven 'vertrouwen' als de overtuiging van een organisatie in het feit dat de samenwerkende partij te goeder trouw en in het voordeel van beide partijen handelt. De mate van vertrouwen tussen de samenwerkingspartners is een beslissende factor voor de onderlinge band tussen de partijen en beïnvloedt de stabiliteit van het samenwerkingsverband. Voor meer informatie over het belang van vertrouwen in samenwerkingsverbanden wordt verwezen naar Das en Teng (1998) en Lane en Backmann (1998). 'Middelen' duidt op de bereidheid en de mate waarin de samenwerkingspartners bijdragen door financiële middelen, rollend materieel, vaste of vlottende activa, kennis, personeel en andere productiefactoren aan het samenwerkingsverband af te staan. (Ensign, 1998; Verstrepen, 2005)

Het wil echter niet zeggen dat, wanneer zowel een hoge mate van vertrouwen als voldoende middelen aanwezig zijn, succes automatisch gegarandeerd is. In dit geval kan men eerder spreken van voorwaarden die noodzakelijk maar niet voldoende zijn. Er zijn namelijk ook

andere factoren die een rol spelen, zoals de motivatie, de sociale en culturele 'fit' tussen de partijen, het aantal partners, de machtsbalans, de verdelingen van kosten en baten en de wijze van conflictbeheersing. (Smith et al., 1995; Verstrepen, 2005)

3.3.4 Typologie van horizontale samenwerking

In het artikel van Verstrepen et al. (2005) wordt een typologie voor horizontale samenwerking geïntroduceerd die gebaseerd is op vier dimensies. Omdat deze typologie op een duidelijke manier de essentie van horizontale samenwerking weergeeft, wordt deze in de volgende paragrafen besproken.

Dimensie 1: Operationeel/tactisch/strategisch

De eerste dimensie duidt de intensiteit of het bereik van een samenwerkingsverband aan. Samenwerking op operationeel niveau houdt in dat partners gaan samenwerken op het gebied van de dagelijkse activiteiten en verrichtingen van de logistieke organisatie. Operationele samenwerking is vooral praktisch van aard en kan beschreven worden als een gezamenlijke uitvoering of het delen van operationele informatie. Tactische samenwerking is gerelateerd aan het behalen van doelstellingen op middellange termijn en houdt een meer intensieve planning en substantiële investeringen in. Tactische samenwerking kan ook wel beschreven worden als gezamenlijke organisatie, gezamenlijke bediening van de markt en het delen van logistieke middelen. Strategische samenwerking ten slotte streeft het bereiken van de lange termijn doelstellingen na. Dit wordt gekarakteriseerd door een intensieve samenwerking en is gerelateerd aan de kernactiviteiten en kerncompetenties van de organisatie. Strategische samenwerking kan beschreven worden als het gezamenlijk leren, de gezamenlijke ontwikkeling van innovatieve concepten en gezamenlijke investeringen. (Macharis en Bontekoning, 2004; Verstrepen et al., 2005)

Bedrijven kunnen zodoende in verschillende mate met elkaar samenwerken. Volgens Deloitte (2007) kan dit gaan van een incidentele of sporadische samenwerking tot een structurele of diepgaande samenwerking. Een verregaande vorm van horizontale samenwerking is de uiteindelijke fusie of samensmelting van partners. De belangrijkste kenmerken van elk samenwerkingsniveau en de intensiteit van deze samenwerking kan teruggevonden worden in figuur 5. In de meeste gevallen zal het samenwerkingsverband de verschillende niveaus doorlopen in een soort groeipad. In dit geval starten de partijen met een laag niveau van vertrouwen en groeit het samenwerkingsverband doorheen de jaren uit tot een intensieve en langdurige samenwerking.

Mate van samenwerking		
Incidenteel	Structureel	Fusie of overname
<ul style="list-style-type: none"> • Operationeel • Met behoud van eigen identiteit • Met meerdere partijen tegelijk • Vooral gericht op het oplossen van capaciteitsproblemen 	<ul style="list-style-type: none"> • Tactisch / Strategisch • Met (deels) behoud van eigen identiteit • Met zeer beperkt aantal partijen • Gericht op gezamenlijke efficiencyverbetering en/of bredere dienstverlening 	<ul style="list-style-type: none"> • Strategisch • Eigen identiteit verdwijnt (op termijn) • Meestal met één partij • Gericht op schaalvoordelen en/of bredere dienstverlening

Figuur 5: Mate van samenwerking (Bron: Deloitte, Presentatie Efficiencyverbetering met horizontale samenwerking, 2007)

Dimensie 2: Concurrerend/niet concurrerend

De tweede dimensie betreft concurrentie. Verstrepen et al. (2005) oordelen dat een horizontale logistieke samenwerking ofwel concurrerend ofwel niet-concurrerend kan zijn. Een niet-concurrerende horizontale samenwerking komt voor wanneer organisaties die verschillende industrieën bedienen een gezamenlijk kennisplatform starten. Wanneer de partners dezelfde industrieën bedienen, zijn ze elkaars directe concurrenten en wordt naar de samenwerking verwezen als zijnde een concurrerende horizontale samenwerking. Bengtsson en Kock (2000) argumenteren in dit opzicht dat een relatie niet zuiver concurrentieel of samenwerkend dient te zijn. Een combinatie van beiden is eveneens mogelijk. In dit geval wordt gesproken van een 'coopetition' of 'co-optitie' en wordt tegelijkertijd op een aantal vlakken samengewerkt en geconcurrereerd.

Dimensie 3: Gemeenschappelijke middelen

Elk type van samenwerking is gebaseerd op het delen van tastbare of ontastbare middelen. Binnen de categorie van horizontale logistieke samenwerkingsverbanden kunnen zes groepen van middelen geïdentificeerd worden. In elke specifieke samenwerking worden elementen uit deze zes groepen gecombineerd. De respectievelijke groepen zijn: vracht, logistieke faciliteiten, transportmiddelen, marktmacht, ondersteunende processen en expertise. De manier waarop deze middelen gecombineerd worden, vormt de basis voor de derde dimensie van de classificatie.

Dimensie 4: Doelstellingen

De laatste dimensie van deze typologie is gebaseerd op de expliciete doelstellingen van een samenwerkingsverband. Verstrepen et al. (2005) hebben zich voor deze dimensie gebaseerd op de werken van Porter (1998), Doz en Hamel (1998) en Deschoolmeester et al. (2004). In deze dimensie worden vijf belangrijke beweegredenen om samen te werken onderscheiden. De eerste en meest frequente doelstelling is **kostenreductie**. Deze kostenreductie kan behaald worden op zowel kernactiviteiten als activiteiten die niet tot de kern van een onderneming behoren. De meeste samenwerkingsinitiatieven streven op korte termijn een kostenreductie na. Cruijssen et al. (2005) vermelden in dit opzicht dat kostenreductie mogelijk is dankzij een platform voor organisationeel leren. Hierdoor is een organisatie in staat zijn eigen operationele processen en productiviteit te verbeteren dankzij toegang tot de vaardigheden en capaciteiten van zijn partners. Ook dankzij de mogelijkheid om gezamenlijke aankopen te doen, kunnen de kosten gereduceerd worden.

Ten tweede kunnen samenwerkingspartners via een horizontale samenwerking trachten om een **groei** te realiseren. Dit kan een financiële groei zijn doordat de omzet of de winst toeneemt of een geografische groei door de samenvoeging van de netwerken van de partners. De studie van Cruyssen et al. (2005) voegt hier aan toe dat horizontale samenwerking voor een groter marktaandeel en dus voor een toename in consumentenbereik kan leiden.

Een derde doelstelling die organisaties kunnen nastreven door samen te werken, is het bereiken van meer **innovatie**. Door de introductie van nieuwe systemen en technologieën, door innovatieve dienstverleningsconcepten en door organisationeel leren is het mogelijk om de kwaliteit van de geleverde diensten aanzienlijk te verhogen.

Zowel Verstrepen et al. (2005) als Dyer en Singh (1998) halen de vierde doelstelling **delen van informatie en de mogelijkheid tot snelle respons** aan. Technologische vooruitgang in informatie- en communicatietechnologie heeft goedkope en efficiënte communicatie tussen partners in een netwerk mogelijk gemaakt. Door het uitwisselen van informatie- en bedrijfsprocessen met partners is een organisatie in staat om de stroom van materialen, diensten en informatie gezamenlijk te plannen, te implementeren en te controleren. Op deze manier trachten de partners een competitief voordeel te verkrijgen door 'real time' informatie en door de mogelijkheid om sneller te reageren dan concurrenten op veranderingen in de markt.

Een laatste doelstelling ten slotte is **maatschappelijke relevantie**. De sterke groei van het goederentransport heeft voor een sterk toegenomen congestie van het Europese wegennetwerk gezorgd. Dit leidt tot hoge sociale kosten en heeft een significante impact op de

toegankelijkheid van Europese economische centra en de gehele Europese economie. Horizontale samenwerking kan in dit opzicht een effectieve manier zijn om een hogere capaciteitsbenutting van transportmodi te verwerven door het samenvoegen van ladingen. Door gemeenschappelijke distributiecentra en het gemeenschappelijk gebruik van transportmodi wordt de efficiëntie van het wegtransport verhoogd.

3.3.5 Mogelijke samenwerkingsvormen in de logistieke sector

Verstrepen (2005) onderstelt dat geen twee vormen van logistieke samenwerking hetzelfde zijn, maar dat een grote diversiteit binnen de samenwerkingsverbanden aanwezig is. Samenwerking kan gaan van een gemeenschappelijke investering in activa teneinde schaalvoordelen te verkrijgen tot een gestandaardiseerde communicatie en coördinatie tussen partners. In de handleiding van Verstrepen (2005) worden een 25-tal concrete samenwerkingsvormen onderscheiden. Hier wordt verder niet dieper op ingegaan, maar deze vormen van horizontale samenwerking kunnen teruggevonden worden in bijlage 3. In deze bijlage wordt weergegeven wat de basisbehoeften op het gebied van vertrouwen en middelen zijn voor elke vorm van samenwerking.

3.4 Samenwerkingsverbanden vereist in het intermodaal vervoer

Zoals in het vorige hoofdstuk reeds duidelijk werd, bestaat de intermodale keten uit een aaneenschakeling van verschillende partijen die elk een stuk van de keten organiseren en beheersen. Het is bijgevolg essentieel dat deze opeenvolgende actoren op een efficiënte manier samenwerken en dat de verschillende transportmodaliteiten op elkaar afgestemd worden. Pas wanneer een naadloze transportketen gecreëerd wordt, is het mogelijk om op grote schaal met het unimodaal wegvervoer te concurreren. Het intermodaal vervoer moet als één product gepromoot worden in plaats van een losse aaneenschakeling van verschillende vervoersdiensten, zoals dit bij multimodaal vervoer het geval is. (Bontekoning et al., 2004)

Vandaag de dag bestaan een aantal knelpunten die de efficiënte werking van het intermodaal vervoer in de weg staan. Een betere samenwerking, zowel horizontaal als verticaal, tussen de verschillende actoren van de intermodale vervoersketen wordt gezien als een mogelijke oplossing van deze knelpunten. Een aantal van deze moeilijkheden worden naar voren gebracht in Vannieuwenhuysse (2006). Deze stelt vast dat overslagterminals niet altijd even kostenefficiënt zijn. Dit is onder meer te wijten aan de te kleine volumes die overgeslagen worden en een slechte coördinatie van de vestigingen van verschillende terminals. Wat het achterlandtransport betreft is de laatste jaren een verhoogde belangstelling merkbaar en dit

zowel door de havens als door de overheid. Toch kan gesteld worden dat dit achterlandtransport nog steeds niet optimaal functioneert en verdere ontwikkeling noodzakelijk is. Vervolgens wordt gezegd dat een gebrek aan vertrouwen bestaat tussen de verschillende vervoersmodaliteiten. Deze blijven elkaar vooral als concurrenten zien en dit zorgt ervoor dat een kloof tussen deze modi bestaat. Een laatste punt dat verbetering behoeft, is de communicatie tussen de verschillende vervoersmodaliteiten. Een betere communicatie kan ervoor zorgen dat het intermodaal vervoer een stuk efficiënter verloopt.

Ook Macharis (2004) legt in haar onderzoek de nadruk op een aantal problemen die zich in het intermodaal vervoer voordoen. Zij legt de nadruk op het feit dat een gebrek aan coördinatie in de intermodale keten veroorzaakt wordt door de afwezigheid van een duidelijke leider of een 'channel leader'. In de internationale intermodale keten hebben de rederijen deze rol deels op zich genomen maar in de continentale keten ontbreekt zulk leiderschap. De afwezigheid van een duidelijke coördinatie van de intermodale keten zorgt voor verwarring en onduidelijkheid naar de consument toe en heeft eveneens gevolgen voor de administratieve afhandeling van het intermodaal vervoer.

In het volgende hoofdstuk wordt nagaan in welke mate samenwerkingsverbanden aanwezig zijn binnen de intermodale sector. Hierbij wordt het eerder gemaakt onderscheid tussen verticale en horizontale samenwerkingsverbanden aangehouden en worden deze verschillende samenwerkingsverbanden of strategische allianties meer in detail besproken.

Hoofdstuk 4: Strategische alliantievorming in intermodaal vervoer

In de literatuur worden twee belangrijke problemen geformuleerd waar het intermodaal vervoer mee te kampen heeft. Enerzijds is de kostenefficiëntie van de intermodale keten inferieur aan deze van het unimodaal wegtransport. Dit heeft als gevolg dat het intermodaal vervoer op sommige transportafstanden niet in staat is om te concurreren met het wegvervoer. Door een betere samenwerking tussen de opeenvolgende actoren en tevens tussen de intermodale actoren onderling kan het concurrentievermogen van de intermodale keten in zijn geheel toenemen. Anderzijds blijkt een gebrekkige communicatie en coördinatie tussen de opeenvolgende schakels in de intermodale keten een probleem dat herhaaldelijk terugkomt. Dit zorgt ervoor dat de intermodale keten nog te vaak gezien wordt als een aaneenschakeling van individuele vervoersmodaliteiten in plaats van een geïntegreerde transportketen. Een betere samenwerking tussen de verschillende operatoren zou tot een efficiënter geheel leiden en ervoor zorgen dat het intermodaal transport als een volwaardige deur-tot-deur vervoersdienst gezien wordt.

Macharis (2004) stelt dat binnen de intermodale transportketen naar meer horizontale en verticale integratie gestreefd moet worden. In dit hoofdstuk wordt dieper ingegaan op de mogelijke samenwerkingsverbanden, zoals deze geformuleerd worden in Macharis (2004).

4.1 Meer integratie noodzakelijk binnen de intermodale keten

Macharis (2004) geeft in haar onderzoek aan dat intermodaal vervoer op twee domeinen meer integratie behoeft. Aan de ene kant dient een hoge mate van verticale integratie bereikt te worden. Verticale integratie beoogt het intermodaal transport te transformeren in een volledig deur-tot-deur pakket. Dit kan voor sommige intermodale spelers gepaard gaan met verticale samenwerkingsverbanden en voor andere operatoren een uitbreiding van de huidige logistieke activiteiten inhouden. In het tweede geval wordt getracht door voorwaartse of achterwaartse integratie de gehele intermodale keten te beheersen. Een voorbeeld hiervan is een rederij die participeert in inland terminals. Samenwerkingsverbanden tussen havens en hun achterland, de binnenvaart en wegvervoerders, tussen het spoorvervoer en wegvervoerders, tussen de rederijen en tussen de binnenvaartterminals zijn onderwerpen die aan bod komen.

Aan de andere kant dient een diepere horizontale integratie tussen de verschillende actoren onderling nagestreefd te worden. Het doel van zulke horizontale integratie is een meer

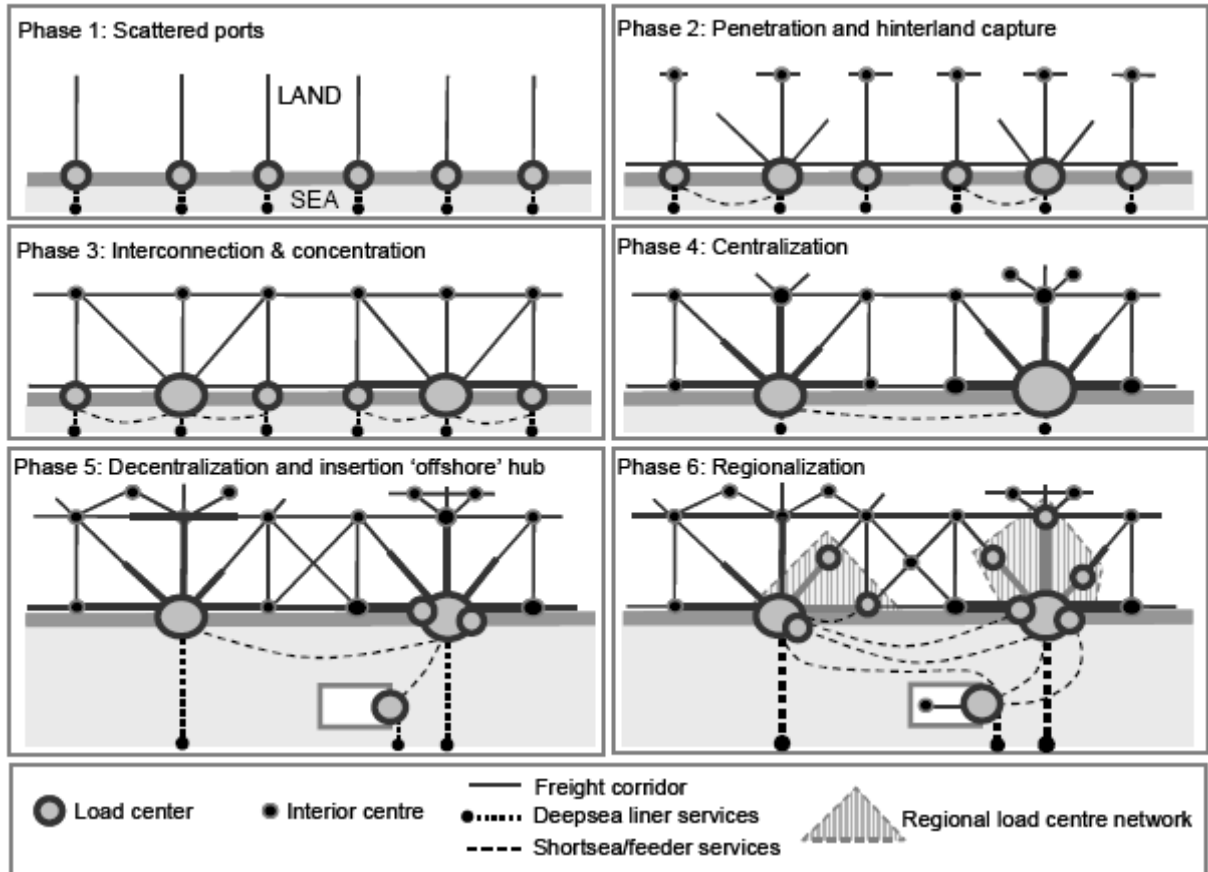
kostenefficiënte werking van de actoren in de intermodale keten. Horizontale samenwerkingsverbanden die aan bod komen, zijn samenwerkingsverbanden tussen de verschillende havens, tussen spoorwegoperatoren en binnenvaartterminals en tussen de terminals onderling. Ook samenwerking tussen de verladers behoort tot de horizontale samenwerkingsverbanden. Binnen het bestek van eindverhandeling zal enkel dieper ingegaan worden op bestaande horizontale en verticale samenwerkingsverbanden. Uitbreiding van de activiteiten door voorwaartse en achterwaartse integratie zal verder niet aan bod komen.

4.2 Verticale intermodale samenwerkingsverbanden

4.2.1 Samenwerking tussen havens en hun achterland

De relatie tussen havens en hun logistiek achterland heeft de laatste jaren aan belang gewonnen. Ook in de literatuur heeft de ontsluiting van havens en de verbinding met het achterland meer aandacht genoten. Zo onderzochten onder meer Blomme (2004), De Langen en Chouly (2004), Notteboom (2004), Notteboom en Konings (2004), Notteboom en Rodrigue (2005), Konings (2007) en Van der Horst en De Langen (2007) het belang van de relaties tussen havens en achterland.

Wat de oorzaken van het toegenomen belang voor deze achterlandverbindingen betreft duiden Notteboom en Rodrigue (2005) op twee belangrijke redenen. Enerzijds dienen havens het hoofd te bieden aan een aantal plaatselijke beperkingen die hun groei en efficiëntie kunnen schaden. Zo worden havens geconfronteerd met een prangend plaatsgebrek doordat ze hun volledige capaciteit bereiken. Ook de diepgang vereisten van de steeds groter wordende schepen zorgen voor havens zoals Antwerpen voor een probleem. Andere plaatselijke beperkingen zijn de toenemende congestie in havens en een stijgend aantal milieubeperkingen. Anderzijds hebben wereldwijde veranderingen een impact op het havengebeuren. Globale productie- en consumptiepatronen hebben de distributie aanzienlijk veranderd door de invoering van regionale productiesystemen en de transformatie naar globale consumptiemarkten. Om het hoofd te kunnen bieden aan deze veranderingen stellen Notteboom en Rodrigue (2005) dat de ruimtelijke ontwikkeling van havensystemen uitgebreid moet worden met een regionalisatiefase. Dit wordt grafisch weergegeven door fase 6 in figuur 6. Deze fase wordt gekenmerkt door een sterke functionele onderlinge verwevenheid en zelfs een gezamenlijke ontwikkeling van specifieke ladingscentra en multimodale logistieke platformen in het achterland. Dit moet uiteindelijk leiden tot de vorming van een 'regionaal netwerk van ladingscentra'. De focus verschuift bijgevolg van het enkel ontwikkelen van het havengebied naar een ruimer systeem waarin zowel de ontwikkeling van de haven als het achterland belangrijk is.



Figuur 6: Ruimtelijke ontwikkeling van een havensysteem (Bron: Notteboom en Rodrigue, 2005)

Van der Horst en De Langen (2007) vermelden nog een bijkomende reden voor het toenemende belang van de verbindingen die een haven onderhoudt met zijn achterland. Zij stellen dat de havens in de Hamburg-Le Havre range vaak te maken hebben met een overlappend achterland. Een goede doorstroom van goederen naar het achterland is met andere woorden essentieel. De ontsluiting van de havens en de bekwaamheid om hun achterland te bedienen bepaalt het concurrentievermogen van de volledige haven. Het is in deze context belangrijk dat havengemeenschappen synergieën met andere transportmodi en andere spelers in het havennetwerk opstellen en ten volle benutten. Notteboom (2004) en De Langen en Chouly (2004) verklaren binnen deze context tevens dat havens geëvolueerd zijn in de richting van belangrijke logistieke draaischijven in logistieke ketens. Naar de toekomst toe zal concurrentie steeds meer plaatsvinden tussen verschillende logistieke ketens.

In het achterlandnetwerk is een belangrijke positie weggelegd voor de inland terminals. Zij zullen namelijk fungeren als satellieten voor de havens, die op hun beurt als hub optreden. Inland terminals zullen in dit achterlandnetwerk meerdere functies meekrijgen. Allereerst dienen ze havengebieden te ontlasten van mogelijke congestie. Havens zullen in staat zijn te groeien

door de uitbouw van een performant achterlandnetwerk. In dit netwerk zorgen inland terminals voor de bundeling van goederenstromen om een aantal rechtstreekse lijndiensten naar de havens in te leggen. Daarenboven zijn inland terminals de ideale locatie om lege containers te bewaren. Ten slotte beschikken inland terminals over het potentieel om later uit te groeien tot logistieke zones. In deze logistieke zones kunnen terminals een aantal functies uitoefenen die traditioneel tot het havengebied behoren en zullen zij in staat zijn om andere logistieke diensten aan te trekken. (Macharis en Verbeke, 2004, Notteboom en Rodrigue, 2005)

Blomme (2004) brengt naar voren dat vooral samenwerkingsverbanden tussen zeehavens en achterland ontstaan zijn wat de privé-sector betreft. Op het vlak van havenbesturen zijn weinig geslaagde samenwerkingverbanden merkbaar, maar blijft het overwegend bij intenties. De oorzaak hiervoor is te vinden in het feit dat havenautoriteiten vrezen voor het "free rider"-probleem. Zo zouden bijvoorbeeld ook concurrerende havens kunnen profiteren van gedane investeringen. Dit zorgt ervoor dat de huidige samenwerkingsverbanden tussen havenautoriteiten en het hinterland zich vooral situeren op het gebied van marketing, onderzoek en ontwikkeling en ICT-toepassingen. Dit wordt bevestigd door Notteboom en Rodrigue (2005) die opmerken dat havenautoriteiten verder moeten gaan dan enkel een bemiddelende rol op zich te nemen. Havenautoriteiten kunnen een belangrijke rol spelen door zich actief te engageren voor de uitbouw van een achterlandnetwerk. Hiervoor is het noodzakelijk dat ze de havengrenzen overschrijden door te investeren in faciliteiten, bijvoorbeeld in inland terminals, en hun leidinggevend vermogen aanspreken. Binnen dit kader heeft de haven van Antwerpen recentelijk een stap in de goede richting gezet door de intentieverklaring Visienota Logistiek te ondertekenen. Hierdoor wilt de haven van Antwerpen haar beleid koppelen aan het achterlandbeleid van de provincie Limburg. (De Lloyd, 2008)

De Langen en Chouly (2004) geven in hun onderzoek aan dat de kwaliteit van de achterlandtoegang afhankelijk is van het gedrag van een grote verscheidenheid aan actoren, in het bijzonder: terminaloperatoren, expediteurs, operatoren van verschillende transportmodi en havenautoriteiten. Er zijn bijgevolg interorganisationele overeenkomsten en coalities noodzakelijk om een verbetering in de transportdiensten en -infrastructuur van het achterland teweeg te brengen. De Langen en Chouly spreken in dit opzicht van een 'collective action' of collectief actieprobleem. Hiermee wordt bedoeld dat een actie die in het belang is van alle organisaties zich toch niet spontaan voordoet. Het uitbouwen van een efficiënt achterlandnetwerk en de ontwikkeling een duidelijke achterlandstrategie vereist dus de betrokkenheid van en samenwerking tussen een groot aantal actoren.

Ook bij de haven van Antwerpen is de laatste jaren het besef gegroeid dat de uitbouw van een efficiënt transportnetwerk dat de haven met zijn achterland verbindt essentieel is om een concurrentievoordeel te behouden. In deze context heeft de Antwerpse haven de afgelopen

jaren een aantal projecten opgestart om het intermodale achterlandvervoer te stimuleren. In volgende paragrafen wordt een kort overzicht gegeven van deze projecten.

Antwerp Intermodal Network (AIN): Dit initiatief gaat uit van de Antwerpse havenautoriteiten en betreft een samenwerking met spoor- en binnenvaartterminals in België, Frankrijk, Nederland en Duitsland. Meer bepaald gaat het om een partnerschap met 10 Belgische inland terminals, 3 Franse inland terminals, 4 Nederlandse en 1 Duitse terminal. Het doel van deze samenwerking is het stimuleren en uitbreiden van het binnenvaart- en spoorvervoer over korte en zeer korte afstand. Tevens wordt getracht door een uitbreiding van het multimodaal transportnetwerk een modale verschuiving teweeg te brengen van het wegvervoer naar het binnenvaart- en spoorvervoer. Het project geniet steun van de Europese Unie door de toekenning van subsidies onder het Marco Polo Programma. In het kader van het project Antwerp Intermodal Network stellen alle partners hun eigen ontwikkelingsplannen op die samen moeten leiden tot een toename in frequentie en een grotere capaciteit van de geleverde vervoersdiensten. (Bron: Port of Antwerp, 2005)



Figuur 7: Antwerp Intermodal Network (Bron: Port of Antwerp, 2005)

Antwerp Intermodal Solutions (AIS): Dit project is in november 2005 van start gegaan. Het project is een samenwerking tussen het Gemeentelijk Havenbedrijf Antwerpen en de goederenbehandelaars PSA HNN en P&O Ports en wordt ondersteund door de spoorinfrastructuurbeheerder Infrabel. De belangrijkste doelstelling van dit project is de stimulering van het spoorvervoer van containers naar en van de haven van Antwerpen. Dankzij dit initiatief zijn reeds zes nieuwe verbindingen ontstaan en worden additionele diensten aangeboden op huidige verbindingen. Verwacht wordt dat dankzij dit project de

containervolumes die per spoor vervoerd wordt aanzienlijk zal toenemen. Tevens zal dit project een gunstige invloed hebben op de modal split. (Port of Antwerp, 2006)

4.2.2 Andere verticale samenwerkingsverbanden

In het werk van Macharis (2004) is sprake van de noodzaak naar meer samenwerking tussen de binnenvaart en de wegvervoerders. Omdat de binnenvaart beperkt wordt door het aanwezige waterwegennetwerk kan een samenwerkingsverband met een wegvervoerder van strategisch belang zijn. De meerderheid van de bedrijven zijn vaak enkel bereikbaar via het wegvervoer en de inschakeling van een wegvervoerder voor het voor- en natransport van de goederen is onvermijdelijk. Naar de toekomst toe geldt evenwel dat een betere afstemming en communicatie tussen deze actoren vereist is. Vertragingen in het binnenvaart gedeelte van de intermodale keten veroorzaken nog te vaak wachttijden voor wegvervoerders. Een betere communicatie tussen beide actoren kan bijgevolg tot een naadloze aaneensluiting van het hele traject leiden.

Tevens stelt Macharis (2004) dat samenwerkingsverbanden tussen het spoorvervoer en de wegvervoerders belangrijk zijn. De reden hiervoor is dat wegvervoer in de meeste gevallen noodzakelijk is voor het voor- en natransport van goederen. Slechts een klein aantal ondernemingen beschikken tegenwoordig over een eigen spoor aansluiting. De meeste ondernemingen dienen bijgevolg het wegvervoer te gebruiken opdat intermodaal spoorvervoer mogelijk is. In Macharis en Verbeke (1999) wordt vermeld dat reeds aan het einde van de jaren zestig de vraag naar een partnerschap tussen wegvervoerders en spoorwegmaatschappijen ontstond. Beperkingen zoals rij- en rusttijden en maxima voor de belading van voertuigen hebben ertoe geleid dat een samenwerkingsverband van belang was voor de wegvervoerders. Ook de spoorwegmaatschappijen hadden hier baat bij door de verruiming van hun werkgebied. Uit deze samenwerkingsverbanden is in 1970 het overkoepelende orgaan Union Internationale des sociétés de transport combiné Rail-Route (UIRR) ontstaan. Deze instantie had de bevordering van het internationaal intermodaal transport als doelstelling en hun actieterrein lag vooral in het intermodale vervoer van containers, wissellaadbakken en opleggers.

Macharis (2004) geeft in haar werk aan dat samenwerkingsverbanden tussen expediteurs en tussen rederijen eveneens mogelijk zijn. Deze mogelijke vormen van samenwerking zullen in deze eindverhandeling niet verder behandeld worden. Toch moet in dit opzicht nog vermeld worden dat vaak een duidelijke leider ontbreekt binnen de intermodale keten. Hiermee wordt bedoeld dat het meestal niet duidelijk is wie het aanspreekpunt is voor de organisatie van het intermodaal vervoer. Het bestaan van een eenduidige leider zou de organisatie van het intermodaal vervoer zeker ten goede komen en zou de aanwezige communicatieproblemen

kunnen verminderen. Macharis (2004) stelt wel vast dat in het maritiem intermodaal vervoer het leiderschap meestal door rederijen opgenomen wordt. Bij het niet-maritiem intermodaal vervoer is zulk leiderschap echter afwezig. Ook een diepere samenwerking tussen rederijen en binnenvaartterminals dringt zich op. Hierdoor moet het mogelijk worden om meer lege terugvrachten uit te sparen en de lege containerstromen te optimaliseren.

4.2.3 *Ketenintegratie*

Zoals in het vorige hoofdstuk vermeld werd, worden de verschillende vervoersmodaliteiten die de intermodale keten opmaken nog teveel als een aaneenschakeling van losse schakels gezien. Dit leidt tot een onduidelijk en verwarrend beeld voor de aanvrager van het vervoer. Een ander gevolg is dat het intermodaal vervoer nog te weinig gezien wordt als één enkel product of één enkele vervoersmodaliteit. Het is essentieel dat het intermodaal vervoer meer inter-modaal wordt en dat de verschillende vervoersmodi beter geïntegreerd en op elkaar afgestemd worden. In de literatuur wordt vaak de noemer ketenbenadering of ketenintegratie gebruikt om te benadrukken dat de intermodale keten als een geheel moet vormen. Opdat deze intermodale keten één geheel zou vormen is informatie-uitwisseling en communicatie tussen de verschillende actoren essentieel. (Misschaert et al., 2005)

Macharis en Verbeke (2004) vermelden dat het ontwikkelen van efficiënte telecommunicatie- en informaticatoepassingen een belangrijke invloed uitoefent op de organisatie en de kwaliteit van het intermodaal vervoer. Telematicatoepassingen die van betekenis zijn voor het intermodaal vervoer zijn Electronic Data Interchange (EDI) en Automated Equipment Identification (AEI). De eerste toepassing maakt het mogelijk om elektronische berichten, zoals vrachtbrieven en facturen, uit te wisselen. Hierbij dient wel opgemerkt te worden dat bij intermodaal vervoer vele actoren betrokken zijn die vaak over hun eigen systeem beschikken. De kans is bijgevolg reëel dat deze systemen niet-compatibel zijn.

De Europese Commissie heeft door de ontwikkeling van de River Information Services (RIS) inspanningen geleverd om de verschillende systemen met elkaar in overeenstemming te brengen. Door de opstelling van deze algemene richtlijnen wordt getracht één informatiedienst te verkrijgen voor het beheren van de vervoersdiensten. RIS geeft de mogelijkheid om de binnenvaart te koppelen aan andere vervoersmodi. De toepassing AEI zorgt voor een automatische identificatie van laadeenheden, zoals containers. Dit maakt een 'tracking and tracing' of een opsporing en tracering mogelijk.

De webtoepassing Barge Traffic System (BTS) zorgt voor een efficiënte uitwisseling van informatie tussen binnenvaartoperatoren/inland terminals en zeeterminals. Hierdoor wordt de

aankomst en het vertrek van binnenvaartschepen gepland en de te lossen/laden hoeveelheden doorgegeven. Belangrijke gegevens kunnen uitgewisseld worden tussen opeenvolgende actoren in de keten. Tevens kan een bevestiging gestuurd worden wanneer containers effectief geladen of gelost zijn in een terminal.

4.3 Horizontale intermodale samenwerkingsverbanden

4.3.1 Samenwerking tussen havens

In Misschaert et al. (2005) wordt gesteld dat de laatste jaren een verbeterde samenwerking merkbaar is tussen de verschillende Vlaamse havens. Toch blijven de havens op bepaalde gebieden met elkaar concurreren, zoals voor het binnenhalen van overheidssubsidies. Nochtans wordt zulke samenwerking naar de toekomst toe steeds belangrijker wegens een toenemende concurrentie tussen de Europese havens, meer bepaald de havens die binnen de Hamburg-Le Havre range liggen. Een andere drijfveer is het feit dat het achterland van deze havens aan het uitbreiden is in de richting van Oost-Europa. In dit opzicht heeft de Vlaamse regering het project Flanders Port Area opgestart in 2007. Dit initiatief tracht te zorgen dat de vier Vlaamse havens, in het bijzonder deze van Antwerpen, Gent, Oostende en Zeebrugge, naar buiten komen als één regio teneinde het gezamenlijke concurrentievermogen te doen toenemen. In de beleidsnota van Vlaams Minister van openbare werken, energie, leefmilieu en natuur Kris Peeters (2004) wordt gesteld dat deze havens elkaar perfect kunnen aanvullen dankzij hun diversiteit en dat een samenwerking allen ten goede zou komen. Deze samenwerkingsverbanden kunnen verschillende vormen hebben. Ze kunnen gaan van een lichte vorm van samenwerking door het voeren van een gemeenschappelijk marketingbeleid tot informatie-uitwisseling, gezamenlijke opleiding en communicatieapplicaties. Ook meer intensieve samenwerkingsvormen, zoals een joint venture en de uitwisseling van commerciële informatie en/of trafiekgegevens, zijn mogelijk. Een intensieve samenwerking tussen deze havens heeft tevens als voordeel dat de goederen beter kunnen doorstromen. (Van Breedam, 2006)

Ook met havens die buiten onze landsgrenzen gelegen zijn, zoals deze van Rotterdam, kunnen samenwerkingsverbanden aangegaan worden. De filosofie hierachter is dat de havens steeds meer een knooppunt in de globale logistieke keten vormen. De concurrentie tussen havens is bijgevolg verschoven naar concurrentie tussen transportketens, en meer bepaald de havens en hun achterland. Omdat in Europa verschillende havens geografisch dicht bij elkaar liggen, betekent dit dat vaak voor hetzelfde achterland geconcentreerd wordt. Dit heeft tot gevolg dat de toegankelijkheid en bereikbaarheid van dit achterland in Europa een strategische zaak geworden is. Havens hebben bijgevolg vaak slechts twee opties: ofwel wordt een sterke

concurrentiestrijd gevoerd tussen de havens, ofwel gaan deze op één of andere manier samenwerken. In de meeste gevallen is echter vooral sprake van concurrentie. (Van der Horst en De Langen, 2007)

Een andere aanleiding van de sterk toegenomen concurrentie tussen de havens binnen de Hamburg-Le Havre range is het bestaan van de First Port of Call. Hiermee wordt bedoeld dat de reders tegenwoordig nog maar een beperkt aantal havens willen aandoen doordat schepen groter worden en doordat het aanmeren in een haven gepaard gaat met hoge kosten. De First Port of Call is de haven die eerst aangedaan wordt en waar het grootste aantal van de containers ontladen wordt. Dit heeft als gevolg dat de First Port of Call een interessante positie betekent voor de havens.

Tussen de havens van Antwerpen en Rotterdam wordt op dit moment op een aantal vlakken samengewerkt. Op andere vlakken wordt geconcurrereerd tussen beide havens, bijgevolg is zowel sprake van samenwerking als concurrentie. In de literatuur wordt naar zulke situatie verwezen als zijnde een co-optitie. Een eerste domein waarvoor samengewerkt wordt, is het lobbyen voor de Europese Commissie. Door dit gezamenlijk aan te pakken verkrijgen de havens een betere machtspositie en staan ze aldus sterker. Een tweede samenwerkingsverband situeert zich op het gebied van de informatie-uitwisseling en dit vooral op het gebied van milieubeleid. Een laatste samenwerkingsdomein is de Rotterdam-Antwerp Pipeline. Dankzij deze pijplijn kunnen vloeistoffen en gassen gemakkelijk tussen de twee havens getransporteerd worden. Tevens is een binnenvaart shuttledienst opgericht tussen de haven van Rotterdam en deze van Antwerpen, namelijk de Port Express. Dit vergemakkelijkt de goederenuitwisseling tussen beide havens. Deze goederenstroom tussen de haven van Antwerpen en Rotterdam neemt een groot aandeel van de totale trafiek op zich. In 2004 werd een volume van ongeveer 950.00 TEU tussen deze havens getransporteerd. (Konings, 2006, Herrebosch, 2006-2007)

4.3.2 Samenwerking tussen spoor/weg operatoren en binnenvaartterminals

In Macharis (2004) wordt geoordeeld dat momenteel weinig tot niet samengewerkt wordt tussen de spoor/weg operatoren en de binnenvaartterminals vermits deze elkaar vooral als concurrenten op dezelfde markt zien. Nochtans schuilt hier volgens Macharis (2004) belangrijk potentieel voor een toekomstige samenwerking. Aan de ene kant omdat de binnenvaart sterk beperkt wordt door het aanwezige binnenvaartnetwerk en het spoorvervoer hier als een strategische aanvulling gezien kan worden. Zo wordt het binnenvaartvervoer vooral aangewend voor het transport tussen de havens en het achterland. Het Belgische spoorvervoer daarentegen kan dankzij het dichte Europese spoornetwerk meer continentale bestemmingen aandoen. Een samenwerkingsverband tussen de spoor/weg operatoren en de binnenvaartterminals zou

bijgevolg kunnen leiden tot een meer uitgebreid gezamenlijk netwerk en biedt de mogelijkheid om goederen naar meer bestemmingen te transporteren. Zo zouden goederen bijvoorbeeld Europa binnen kunnen komen via de haven van Antwerpen. Vervolgens zouden ze via de binnenvaart naar de trimodale terminal van Genk vervoerd kunnen worden om van daaruit per spoor naar Zuid- en Oost-Europese bestemmingen vervoerd te worden. Een ander minpunt van de binnenvaart is dat ze vooral gericht is op het vervoer van grote volumes. Een samenwerkingsverband met de spoorwegen zou een alternatief kunnen bieden voor het vervoer van kleine verzendingen of goederen met een korte doorlooptijd. Deze twee vervoersvormen zouden zodoende parallel aan elkaar gebruikt kunnen worden voor deze kleine verzendingen. Hierdoor verhoogt de flexibiliteit en de betrouwbaarheid van het goederenvervoer. Beide actoren zouden elkaar bijgevolg goed kunnen aanvullen. Ze kunnen zowel opeenvolgend als parallel aan elkaar ingeschakeld worden en op deze manier tot een hogere efficiëntie van het intermodaal vervoer leiden. Ten slotte moet vermeld worden dat samenwerking enkel kans op slagen heeft indien de verschillende transportmodi elk op een duidelijk afgebakende markt kunnen opereren en geen rechtstreekse concurrenten zijn.

In de praktijk kan de opkomst van de trimodale terminals reeds gezien worden als de aanzet voor een samenwerking tussen de spoor/weg operatoren en de binnenvaartterminals. In een trimodale terminal wordt een binnenvaartterminal gecombineerd met een spoorterminal. Op deze manier wordt het mogelijk om het spoornetwerk aan het binnenvaartnetwerk te koppelen door een rechtstreekse overslag tussen binnenvaart en spoor. Het aantal trimodale terminals is in België sterk toegenomen de laatste jaren. In 1999 bestond slechts één trimodale terminal en momenteel zijn al vijf trimodale terminals operationeel, namelijk: Water Container Terminal (WCT) Meerhout, Trimodale Terminal Genk, Trimodale Container Terminal (TCT) Willebroek, Euro-Combi-Est Luik-Renory en Brussels Container Terminal (BCT).

Ondanks het feit dat het aantal trimodale terminals is toegenomen, wordt door Vannieuwenhuysse et al. (2007) geopperd dat deze terminals helemaal niet naar behoren functioneren. Een goed voorbeeld hiervan is de Trimodale Container Terminal te Willebroek. Oorspronkelijk was het de bedoeling dat de goederenstromen tussen de terminal en de haven van Antwerpen door middel van spoorvervoer zouden plaatsvinden. Dit bleek echter niet rendabel te zijn en vertoonde een gebrek aan flexibiliteit. Momenteel wordt daarom het binnenvaartvervoer ingeschakeld voor dit transport. De spoorterminal is bijgevolg niet langer operationeel en wordt als opslagplaats gebruikt.

In Vannieuwenhuysse et al. (2007) wordt geargumenteed dat trimodale terminals momenteel vooral benut worden voor de ontsluiting van een regio. De binnenvaart kan bijvoorbeeld ingeschakeld worden voor de aanvoer van grondstoffen. Voor de afvoer van afgewerkte

producten naar de verschillende bestemmingen kan dan op zijn beurt gebruik gemaakt worden van het spoorvervoer.

4.3.3 Samenwerking tussen terminals

In Misschaert et al. (2005) worden inland terminals gezien als multimodale knooppunten die een aanzienlijk belang hebben voor het intermodaal vervoer. Hun belangrijkste functies situeren zich op het gebied van het creëren van goederenstromen die een voldoende grote omvang hebben en het transporteren van goederen van en naar de havens. Het is tevens belangrijk dat deze terminals in goede verbinding staan met omringende bedrijven.

Binnen het terminalnetwerk is het mogelijk om 3 verschillende niveaus te onderkennen. Allereerst kunnen de gateways of de zeehaventerminals onderscheiden worden. Vervolgens zijn er de grote inland terminals. Op het laagste niveau ten slotte bevinden zich de kleinere dedicated terminals. Samenwerking tussen deze verschillende terminals zou volgens Misschaert et al. (2005) essentieel zijn en voordelen kunnen opleveren. Zo zouden de terminals bijvoorbeeld kunnen samenwerken om goederenstromen samen te voegen zodat een goederenstroom van voldoende grote omvang ontstaat in inland hubs. Hierdoor worden schaalvoordelen verkregen en wordt het mogelijk om verscheidene shuttlediensten in te leggen tussen de inland- en de maritieme terminals. Door het samenvoegen van goederenstromen worden deze shuttlediensten eveneens betrouwbaarder en de dure terminalinstallaties kostenefficiënter. In deze situatie is het evenwel noodzakelijk dat een soort hiërarchie in het terminallandschap ontstaat. De grote terminals zouden dan dienst doen als een soort hub in een structuur van kleinere en meer lokale terminals en overslagkades. Tevens is het noodzakelijk dat een systeem uitgewerkt wordt om het probleem van de lege vervoersstromen te verhelpen. Dit houdt in dat op dit ogenblik nog te veel overbodige binnenvaarttrafiek bestaat om lege containers te vervoeren. Om dit te verhelpen, dienen zowel de inland terminals onderling als de inland terminals en de rederijen samen te werken. Op het bestaande Belgische terminallandschap en de verschillende bundelingsconcepten wordt dieper ingegaan in het volgende hoofdstuk.

In Van der Horst en De Langen (2007) wordt vermeld dat de belangrijkste coördinatieproblemen in de container binnenvaart te wijten zijn aan het feit dat binnenvaartschepen veel tijd doorbrengen in het havengebied. Binnenschepen doen slechts een beperkt aantal terminals aan in het achterland. Dit heeft tot gevolg dat binnenschepen meerdere haventerminals dienen te bezoeken waar telkens een beperkt aantal containers in- en uitgeladen wordt. Een samenwerking tussen de binnenvaartterminals onderling kan ervoor zorgen dat goederen op een efficiënte manier gebundeld worden. Minder haventerminals dienen bezocht te worden

wanneer bijvoorbeeld containers met dezelfde bestemmingsterminal samengevoegd worden. Bij samenwerking zal eveneens meer cargo uitgewisseld worden in de haventerminals. Een samenwerkingsverband tussen de binnenvaart terminals kan de realisatie van schaalvoordelen en frequentere afvaarten mogelijk maken. Toch moet vermeld worden dat zulke samenwerking niet spontaan ontwikkelt omdat de meeste binnenvaartterminals hun onafhankelijkheid wensen te behouden.

In Macharis (2004) wordt aangegeven dat het al dan niet ontstaan van concurrentie tussen binnenvaartterminals afhankelijk is van de geografische positie van de terminals en van hun afstand verwijderd van de haven. Voor de terminalmarkt geldt dat lage barrières aanwezig zijn om een terminal te openen maar hoge uittredingsbarrières. De terminalmarkt wordt eveneens gekenmerkt door een lage winstgevendheid. Concreet betekent dit dat terminals die geen directe concurrenten zijn en niet in elkaars vaarwater zitten in aanmerking komen voor een eventuele samenwerking.

In de praktijk zijn in het verleden reeds een aantal samenwerkingsverbanden opgestart. In de volgende paragrafen wordt een bondig overzicht gegeven van de voornaamste samenwerkingsverbanden.

In 2003 werd **Inland Container Terminal Operators** (ICTO) gesticht, naar analogie van de Nederlandse Vereniging van Nederlandse Inland Terminal Operators (VITO). Het VITO had als belangrijkste doelstelling het stimuleren van het intermodaal vervoer. ICTO is een samenwerkingsverband tussen Avelgem Container Terminal (AVCT), BATOP Herent, Gosselin Container Terminal (GCT) in Deurne, Independent Barge Operators (IBO) Vilvoorde, Trimodale Container Terminal (TCT) Willebroek en Water Container Terminal (WCT) Meerhout welke zes Vlaamse binnenvaartterminals zijn. Het doel van dit samenwerkingsverband is de bestending van de gemeenschappelijke belangen en het opzetten van een aantal concrete acties. Zo onderhandelt het ICTO collectief met de havenautoriteiten, de overheid en de stuwadoors. Ook problemen met informatiestromen en de behandeling van de binnenschepen in de havens worden gezamenlijk aangepakt. (Vannieuwenhuysse et al., 2007)

Een volgend samenwerkingsverband is de beroepsorganisatie **International Container Barge Operators** of ICBO. Deze organisatie heeft vanaf 2007 het grootste deel van de objectieven van ICTO op zich genomen. ICBO is een contactpunt voor iedereen die betrokken is bij de behandeling van 'container barges' in de haven van Antwerpen. ICBO behartigt tevens de belangen van de inland terminals en de barge operatoren in Antwerpen, Rotterdam en het Rijngebied. (Vannieuwenhuysse et al., 2007)

Een ander samenwerkingsproject is SIKZNEB of **Samenwerking Intermodale Knooppunten Zuid-Nederland en België**. Dit proefproject ging uit van de organisaties Incodelta, Dienst voor de Scheepvaart en NV Zeekanaal en ging in 2003 van start. Er waren 24 inland containerterminals betrokken bij deze samenwerking, waarvan effectief 15 terminals actief meegewerkt hebben. Het uitgangspunt van SIKZNEB was een oplossing zoeken voor de onbalans in het vervoer van lege containers die veroorzaakt wordt door het onevenwicht in import- en exportstromen. Het doel van SIKZNEB was zorgen voor een optimalisering van de lege en volle containers door een betere afstemming van vraag en aanbod. Door deze stromen te herschikken en te bundelen, verbetert de transportefficiëntie en wordt de beladingsgraad van de binnenschepen aanzienlijk verbeterd. De belangrijkste resultaten van het SIKZNEB project waren het creëren van een draagvlak voor samenwerking, het bereiken van een transportbesparing, een betere benutting van de infrastructuur en een betere bedrijfsvoering. Uit het project is tevens gebleken dat het opbouwen van een vertrouwensband tussen de terminals veel inzet vereist en dat samenwerking zeer moeilijk is. Het concept is na de afloop van het project overgenomen door één van de deelnemers, met name HTS Intermodaal BV. (Incodelta Zuid-Nederland, 2005, Vannieuwenhuysse et al., 2007)

In 2006 werd het pilootproject **Container Terminal Network** opgestart door het Vlaams Instituut voor de Logistiek. Dit project houdt een samenwerking in tussen vier inland containerterminals, namelijk deze van Beringen, Genk, Luik en Stein. Met deze samenwerking wordt beoogd kosten te besparen door een gezamenlijke organisatie van het vervoer van containers van en naar de Antwerpse haven. Hierbij wordt tevens nagegaan ofdat het mogelijk is om binnenschepen collectief te gebruiken. Dit gezamenlijk gebruik wordt noodzakelijkerwijze ondersteund door een gemeenschappelijk informatiesysteem en een centrale planning. (Van Breedam, 2006; Vannieuwenhuysse et al., 2007)

In het kader van het samenwerkingsproject van de Vlaamse overheid en de logistieke sector, Flanders Logistics, is in 2007 het **Flanders Inland Shipping Network (FISN)** opgestart. Dit netwerk tracht een antwoord te bieden op een aantal uitdagingen waar de binnenvaart vandaag de dag mee te maken heeft. Om het concurrentievermogen van de binnenvaart te vrijwaren, worden zes strategische doelstellingen geformuleerd en concrete acties getroffen voor de eliminatie van bestaande knelpunten. (Mobiël Vlaanderen, 2008)

Wanneer meer concrete, operationele, partnerschappen bekeken worden, valt op dat pas in 1999 voor de eerste keer sprake was van een samenwerkingsverband tussen twee binnenvaartterminals. In dat jaar sloten de Containerterminal CT Gent en Avelgem Container Terminal (AVCT) een samenwerkingsverband. Dat zelfde jaar besloten ook Puurs Inland Terminal Zeekanaal (PITZ) en de in Meerhout gelegen Water Container Terminal (WCT) samen te werken. Het doel van deze samenwerkingsverbanden was de bevordering van

ladingsuitwisselingen en een kostenefficiëntere werking. Deze samenwerkingsverbanden hebben bovendien geleid tot de oprichting van de Vlaamse Intermodale Kring (VIK). Tegenwoordig zijn deze samenwerkingsverbanden opnieuw ontbonden. Ondertussen zijn wel weer nieuwe partnerschappen ontstaan. Zo hebben AVCT en het Intermodaal Platform Gent opnieuw een samenwerkingsverband. Verder werkt Brussels Container Terminal (BCT) samen met de Trimodale Container Terminal (TCT) te Willebroek voor het vervoer van containers naar de haven van Antwerpen. Bovendien werkt TCT eveneens samen met Cargovill Container Terminal te Vilvoorde voor het vervoer naar Antwerpen en Rotterdam. Ten slotte werken ook de recent opgerichte terminal van Wielsbeke en de terminal in het Nederlandse Terneuzen samen. Samengevat lijkt het duidelijk dat een begin gemaakt is voor een diepere samenwerking tussen de binnenvaartterminals. Evenwel dient vermeld te worden dat deze samenwerkingsverbanden voortdurend veranderen. Het is goed mogelijk dat ondertussen enkele van bovenstaande samenwerkingsverbanden terug afgesprongen zijn of nieuwe ontstaan zijn. (Macharis en Verbeke, 2004; Vannieuwenhuysse et al., 2007)

Het Rijngebied daarentegen wordt in hogere mate gekenmerkt door samenwerkingsverbanden tussen de terminals onderling. Het gaat hier voornamelijk over operationele samenwerkingsverbanden die ook wel 'Fahrgemeinschaften' genoemd worden. Door samen te werken hopen de terminals een uitputtende concurrentiestrijd te vermijden. Deze operationele samenwerking uit zich meestal in het gezamenlijk organiseren van lijndiensten. Hierdoor is het mogelijk om een hoge vertrekfrequentie aan te bieden waardoor de servicegraad drastisch verbeterd. Tegelijkertijd wordt de kostenefficiëntie van de partners verbeterd. Een andere trend die zich afspeelt onder de inland terminals op de Rijn is een consolidatiebeweging. De laatste jaren worden steeds meer terminals onder hetzelfde management gebracht. Een gemeenschappelijk beheer maakt het bundelen van volumes en het onderling afstemmen van de vaartschema's gemakkelijker. De belangrijkste marktspelers in het Rijngebied zijn Rhenania Intermodal, Rhenus logistics, Binnenlandse Container Terminals Nederland (BCTN), de Heuvelman Transport System (HTS) groep en de Gelderse Terminals Holding. Meer terminalgroepen worden weergegeven in tabel 4. (Rabobank Corporate Clients Industry Knowledge Team, 2004)

De genoemde consolidatiebeweging in combinatie met de operationele samenwerkingsverbanden zou leiden tot netwerkvorming. De voordelen van deze terminalnetwerken zijn: de onderlinge afstemming van activiteiten van terminals, het aanbieden van gecoördineerde lijndiensten en een geoptimaliseerde stroom van lege containers. De vorming van een optimaal binnenvaartnetwerk zou veel kansen en voordelen kunnen bieden voor zowel de binnenvaartsector als de intermodale sector. (Rabobank Corporate Clients Industry Knowledge Team, 2004)

Operatoren	Terminals	Overslag
Rhenania Intermodal	Neuss, Mainz, Frankfurt am Main, Worms, Mannheim, Karlsruhe	244.000 TEU
Rhenus Logistics	Emmerich, Duisburg, Koblenz, Ludwigshafen, Wörtz, Basel	239.000 TEU
BCTN	Nijmegen, Den Bosch, Hengelo	180.000 TEU
CSX World Terminals	Germersheim	165.000 TEU
HTS	Oosterhout, Kampen, Gorinchem, Harderwijk, Duisburg, Gent	160.000 TEU
Waalhaven Beheer	Rotterdam en Born	56.000 TEU
EIT	Wansum, (Ridderkerk), (Oosterhout), (Emmelsum)	50.000 TEU
Van Uden/Rotra (MTA)	Doetinchem, Zutphen, (Haaften), (Alphen aan den Rijn)	30.000 TEU

Tabel 4: Terminalgroepen in het Rijngebied (Bron: Rabobank Corporate Clients Industry Knowledge Team, 2004)

Wat de bestaande spoorwegterminals betreft, blijkt dat deze meestal opgenomen zijn in een netwerk. Op deze netwerken gaat in dit hoofdstuk niet dieper ingegaan worden, maar hiervoor wordt verwezen naar het volgende hoofdstuk. Wel kan gesteld worden dat spoorterminals meer samenwerken dan binnenvaartterminals. De reden hiervoor kan teruggevonden worden in het feit dat het beheer van het merendeel van de spoorwegterminals in handen is van Inter Ferry Boats (IFB) en Transport Rail Weg/Transport Route-Wagon (TRW). Deze twee organisaties zijn tevens verantwoordelijk voor het bedienen van de Belgische spoorwegen. In deze zin is het relatief eenvoudig om samenwerkingsverbanden aan te gaan tussen de verschillende spoorwegterminals. Voor de binnenvaart is deze situatie complexer aangezien de meeste binnenvaartterminals uitgebaat worden door privé-ondernemingen. Het is bijgevolg moeilijker om een samenwerkingsverband op te starten tussen verschillende binnenvaartterminals.

4.3.4 Samenwerking tussen verladers

Wat samenwerking tussen verladers betreft is al meer onderzoek gebeurd, onder meer door het Vlaams Instituut voor de Logistiek (2008), door Ergun et al. (2007) en door Vos et al. (2002, 2003) voor de organisatie TNO Inro.

Verladers hebben steeds meer de tendens om onderlinge samenwerkingsverbanden aan te gaan. De belangrijkste reden hiervoor is de zoektocht naar een efficiëntere werking. Verladers staan onder een continue druk van de markt om hun logistieke prestaties te verbeteren terwijl ze trachten de kosten te verminderen. Tevens moeten zij kunnen inspelen op veranderende

klantenbehoeften en in staat zijn om steeds kleinere hoeveelheden frequenter te vervoeren. Bovendien is tegenwoordig geen sprake meer van reservevoorraden die bescherming bieden tegen tekorten maar wordt steeds meer just-in-time gewerkt. (Ergun et al., 2007)

Van Breedam (2005) maakt een onderscheid tussen zes niveaus waarop verladers kunnen samenwerken. Het eerste niveau is een **aankoopsamenwerking**. Door samen met andere verladers goederen gebundeld aan te kopen, is het mogelijk om een betere prijs en een betere dienstverlening te verkrijgen. Het tweede niveau, **voorraadsamenwerking**, biedt de gelegenheid om veiligheidsbuffers en voorraadkosten te doen afnemen door deze gezamenlijk te beheren. Het volgende niveau is **transportsamenwerking**. Hier wordt getracht een verlaging van de transportkosten te bereiken door het samenvoegen van distributienetwerken. Door het bundelen van goederenstromen worden voertuigen efficiënter ingezet, terwijl kosten gereduceerd worden en een betere dienstverlening geleverd wordt. Omdat het bundelen van goederenstromen een belangrijk onderdeel is van samenwerkingsverbanden tussen verladers komt dit in het volgende hoofdstuk uitgebreid aan bod. Het vierde niveau, **infrastructuur- of dienstensamenwerking**, is een samenwerkingsverband op het niveau van magazijnoperaties. Hier kan een gezamenlijk gebruik van infrastructuur en werknemers kosten- en schaalvoordelen en een gestegen productiviteit opleveren. Het vijfde niveau is een **"full service" concept**. Hiermee wordt bedoeld dat de voorgaande niveaus gecombineerd worden om een maximale synergie te verkrijgen. Het zesde niveau is **distributieconsolidatie**. Bij distributiesamenwerking worden uitgaande logistieke activiteiten collectief uitgevoerd en gebundeld door twee of meer verladers. Het doel van distributiesamenwerking is het verlagen van de totale logistieke kosten, het bieden van een betere klantenservice en het behalen van een duurzamere logistiek. In Europa zijn reeds succesvolle invullingen van het concept distributiesamenwerking verwezenlijkt. Een geslaagd voorbeeld van distributiesamenwerking is het samenwerkingsverband tussen de bedrijven Lever-Fabergé en Kimberly-Clark in Nederland. In België staat dit concept nog in de kinderschoenen maar wordt verwacht dat dit concept ook hier een hoge vlucht gaat nemen. (Van Breedam, 2005; Vlaams Instituut voor de Logistiek, 2008)

Steeds meer verladers besteden hun logistieke activiteiten uit aan een logistieke dienstverlener. Ook deze beginnen steeds meer heil te zien in horizontale samenwerkingsverbanden. Samenwerking tussen logistieke dienstverleners wordt binnen het kader van deze eindverhandeling echter niet verder besproken.

4.3.5 Samenwerking tussen vrachtwagenvervoerders

Het probleem dat zich hier situeert, is dat de markt van het goederenvervoer over de weg uit een groot aantal transportbedrijven met een kleine vloot bestaat. De meeste vrachtvervoerders bezitten zelfs slecht één vrachtwagen en slechts 1% bezit meer dan 50 trucks. Deze gefragmenteerde markt heeft gevolgen op de prijs en zorgt dat de winstmarges laag liggen. Ook de reglementering op het wegvervoer wordt steeds strenger en de administratieve last zwaarder. In dit opzicht zouden wegvervoerders hun krachten kunnen bundelen en samenwerkingsverbanden sluiten. Hierdoor wordt het mogelijk om onderling vracht uit te wisselen om het leegrijden te beperken. Door een samenwerking zouden wegvervoerders ook sterker komen te staan en meer macht verkrijgen ten opzichte van hun 'consumenten'. Hierdoor wordt het misschien mogelijk om een betere prijs voor hun diensten te verkrijgen. Wel moet opgemerkt worden dat zulk samenwerkingsverband zeker evident is en dat bijna alle spelers in de markt betrokken moeten worden. Indien enkele bedrijven niet betrokken zijn in de samenwerking kunnen zij immers de prijs opnieuw omlaag drijven. Derhalve is de kans op opportunisme door het grote aantal spelers reëel. (Vannieuwenhuysse, 2006; Van der Horst and De Langen, 2007)

In dit hoofdstuk werd geconstateerd dat het genereren van goederenstromen van een voldoende grote omvang van en naar het havengebied een belangrijke taak is van de inland terminals. Op deze manier zijn de inland terminals in staat om een frequente dienstverlening van en naar haventerminals aan te bieden. Hiernaast hebben ook de havens belang bij een efficiënte verbinding met het achterland vermits een goede ontsluiting hun concurrentievermogen verbetert. Daarenboven werd vermeld dat ook op verladersniveau goederenstromen gebundeld kunnen worden. Door distributienetwerken van verladers samen te voegen wordt getracht transportkosten te verminderen en de geboden dienstverlening te verbeteren. Aangezien het samenwerken in een netwerk en het samenvoegen van goederenstromen een belangrijk onderwerp is binnen de intermodale vervoerssector, wordt hier meer aandacht aan besteed in het volgende hoofdstuk.

Hoofdstuk 5: Intermodale netwerken en het bundelen van goederenstromen

Theys et al. (2008) geven in hun onderzoek aan dat het vermogen om goederenstromen samen te voegen of te bundelen een belangrijke invloed heeft op het succes van intermodaal vervoer. Hierin bestaan twee mogelijkheden, het bundelen van goederen op verladerniveau en het bundelen van goederen op het niveau van de terminals. Doordat verladers samenwerken en hun goederen gaan samenvoegen, wordt het voor hen mogelijk om de overstap te maken naar vervoersmodi die meer geschikt zijn voor het transporteren van grote volumes. Het is namelijk vereist om over een bepaald basisvolume te beschikken opdat intermodale diensten rendabel zijn. Ook samenwerkingsverbanden tussen terminals zijn meestal gebaseerd op het samenvoegen en bundelen van goederenstromen. Het is bijgevolg belangrijk een duidelijk beeld te krijgen van de mogelijkheden die bestaan om goederenstromen te bundelen alsook van de netwerkstructuren die deze bundelingsconcepten ondersteunen.

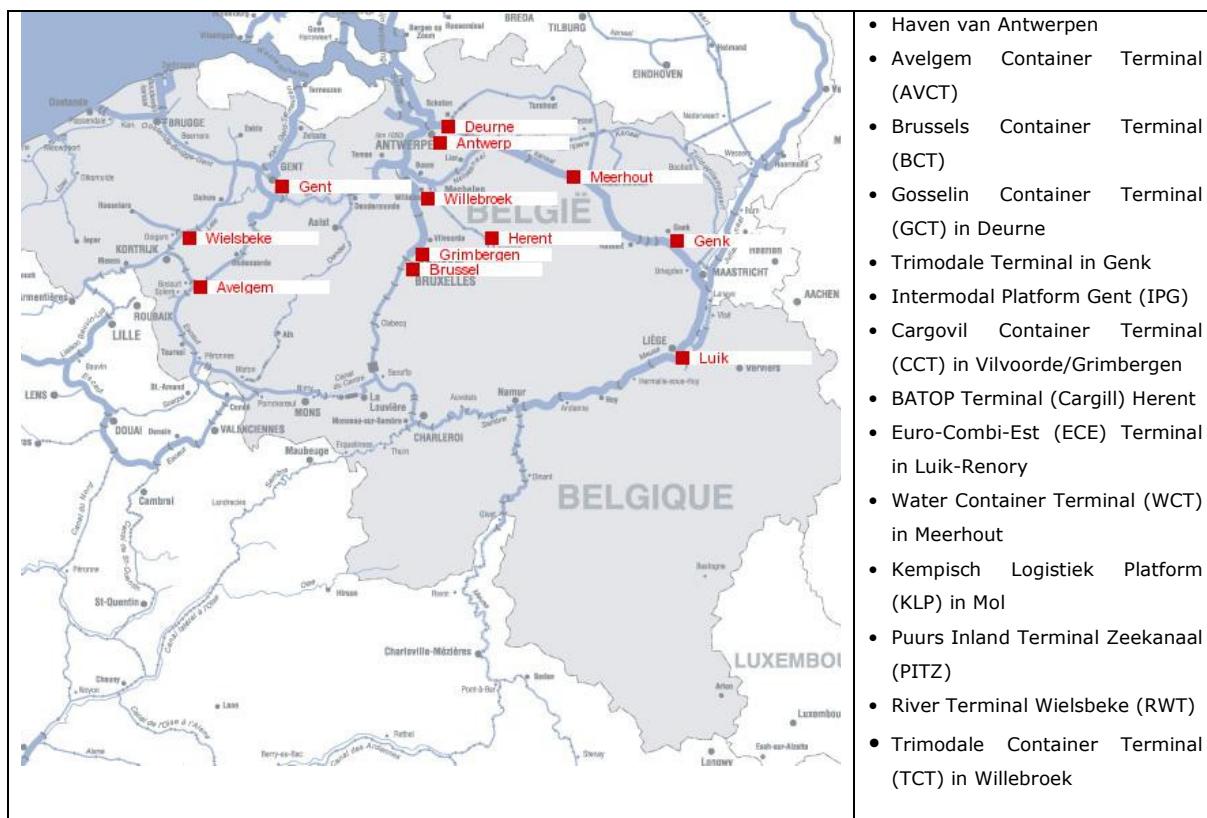
In dit hoofdstuk wordt vooreerst dieper ingegaan op de intermodale netwerken beschikbaar in België. Meer bepaald wordt er een overzicht gegeven van de bestaande terminals en de aanwezige netwerken, zowel wat de binnenvaart als wat het spoorvervoer betreft. Vervolgens wordt het onderwerp bundeling aangekaart. Hierbij wordt een onderscheid gemaakt tussen bundeling door verladerssamenwerking en het bundelen van goederenstromen in een terminalnetwerk. Tot slot wordt nagegaan welke van deze bundelingsconcepten toegepast worden in Belgische intermodale netwerken.

5.1 Weergave van het intermodaal netwerk in België

5.1.1 Intermodaal binnenvaartnetwerk

In België heeft het intermodale binnenvaartgebeuren slechts recentelijk aan belang gewonnen. Pas tegen het einde van de jaren '90 is een bloei geweest op het gebied van het ontstaan van nieuwe terminals. De eerste geopende binnenvaartterminal is de terminal van Avelgem die in 1991 zijn deuren voor het publiek heeft geopend. De tweede terminal was deze van Meerhout, die in 1996 gesticht is. Hierna kan gesproken worden van een enorme toename van terminals. Tegenwoordig beschikt België zelfs over een vijftiental binnenvaart/weg containerterminals. In figuur 9 worden deze gesitueerd op de kaart van België. Deze kaart is echter niet meer helemaal up-to-date aangezien er ondertussen nog terminals bijgekomen zijn. Om een duidelijk

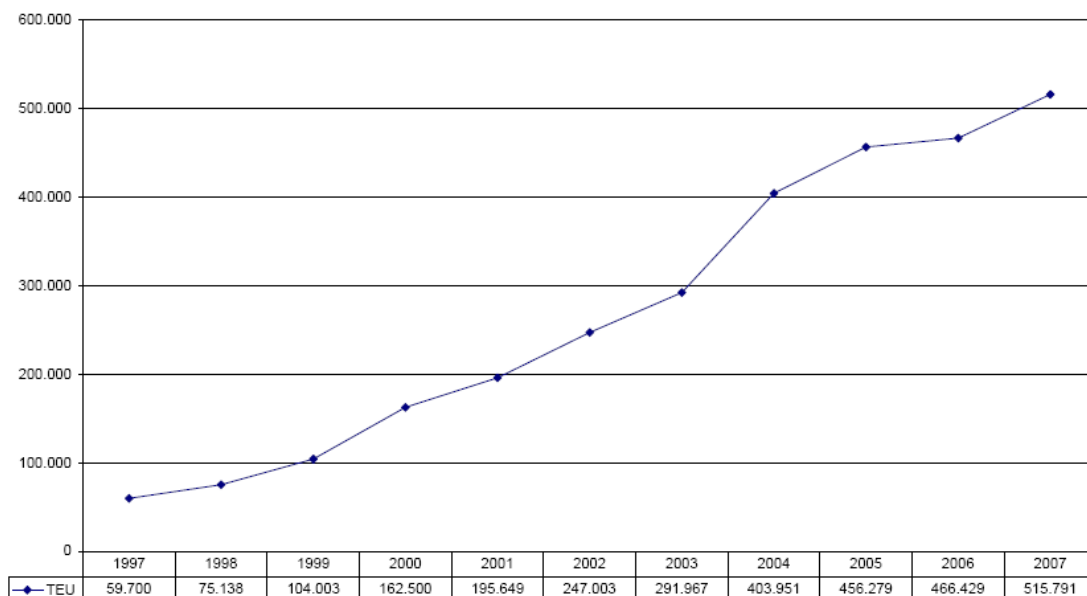
beeld te geven, worden alle operationele binnenvaartterminals in de rechterkolom van figuur 8 opgesomd. In de nabije toekomst worden deze terminals aangevuld door twee nieuwe projecten, namelijk de Multimodale Terminal Roeselare en de terminal Interleuven Wilsele. (Macharis en Verbeke, 2004, Vannieuwenhuysse et al., 2007)



Figuur 8: Binnenvaartterminals weergegeven op de kaart van België (Bron: The inland waterways departures list, 2004, Vannieuwenhuysse et al., 2007)

De reden voor deze opkomst van binnenvaartterminals is tweevoudig. Enerzijds zijn de laatste decennia de containertrafiek enorm toegenomen. Deze stijging is ontstaan onder invloed van de uitbreiding van de internationale handel en een verandering van de globale productie- en consumptiepatronen. Het gevolg was een sterke groei van het aantal containers dat behandeld wordt in de havens. Om de druk die ontstaan is op de collectie- en distributiesystemen van havens te verminderen zijn binnenvaartshuttles en spoorverbindingen ontwikkeld tussen de zeehavens en hun achterland. Volgens Macharis en Verbeke (2004) bestaat een gunstige wisselwerking tussen de ontplooiing van het binnenvaartnetwerk in het achterland en de groeikracht van de havens. Anderzijds heeft het binnenvaartvervoer de laatste jaren op steun van de Vlaamse regering kunnen rekenen. Door subsidies toe te kennen voor de bouw van kaaimuren en de vermindering van de vaarrechten heeft de binnenvaarttrafiek een enorme toename gekend. Ook de toegenomen focus van de laatste jaren op duurzaam vervoer heeft tot

een modale verschuiving in de richting van het binnenvaartvervoer geleid. In figuur 9 wordt de evolutie van het aantal vervoerde TEU's op de Vlaamse inland container terminals weergegeven. Hieruit wordt duidelijk dat tussen 1997 en 2007 een opwaartse trend heeft plaatsgevonden in het binnenvaarttransport. Ook in bijlage 4 wordt weergegeven hoe het Belgische terminallandschap geëvolueerd is tussen 1999 en 2006.



Figuur 9: Evolutie van het aantal vervoerde TEU's op Vlaamse containerterminals (Bron: Promotie binnenvaart Vlaanderen, 2007)

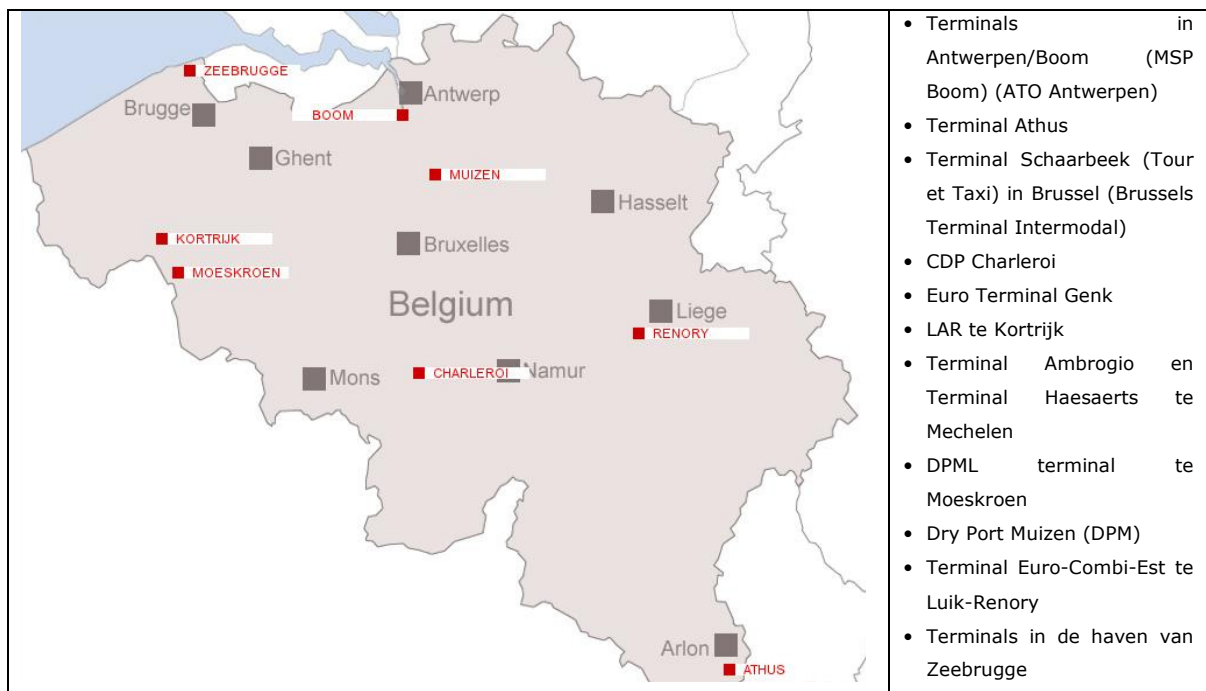
In tegenstelling tot het spoorvervoer is in de binnenvaart niet echt sprake van een intermodaal netwerk in België. De intermodale binnenvaartterminals werken daarentegen vooral met rechtstreekse lijn- of pendeldiensten tussen de terminal en voornamelijk de havens van Antwerpen en Rotterdam. Konings (2006) vermeldt dat hier twee redenen voor zijn. Enerzijds is de doorvaarttijd belangrijk. Deze tijd zou zo klein mogelijk dienen te zijn voor binnenvaartdiensten over korte afstand (50 tot 150 km) omdat hier een sterke concurrentie heerst met het wegvervoer. Anderzijds ligt de exploitatie van binnenvaartdiensten en terminals vaak in privé-handen. (Macharis en Verbeke, 2004)

5.1.2 Intermodaal spoorwegnetwerk

Het ontstaan van spoorwegterminals situeert zich eerder dan het ontstaan van de binnenvaartterminals. Op het einde van de jaren zestig werden door de nationale spoorwegmaatschappijen in Europa reeds terminals opgericht om het binnenland te verbinden met de havens. In dit opzicht werd ook de organisatie 'Intercontainer' opgericht. Intercontainer

verzorgde het vervoer per spoor van containers tussen de havens en het hinterland en diende te zorgen voor een vlotte internationale intermodale dienstverlening.

Vandaag de dag zijn twee belangrijke organisaties actief in het Belgische spoorwegvervoer, namelijk Inter Ferry Boats (IFB) en Transport Rail Weg/Transport Route-Wagon (TRW) waarin de NMBS holding de belangrijkste aandeelhouder is. IFB is tevens de Belgische vertegenwoordiger van de internationale operator Intercontainer/Interfrigo (ICF). De twee organisaties IFB en TRW beschikken over meerdere functies in het Belgische spoorvervoer. Naast het exploiteren van de spoorwegen, beheren ze eveneens nagenoeg alle intermodale spoor/wegterminals. Dankzij de Europese oorsprong van IFB en TRW is een vlotte samenwerking mogelijk tussen de Belgische en de buitenlandse terminals. Ook in nichemarkten zijn enkele private spelers actief die een terminal in hun beheer hebben. Zo biedt bijvoorbeeld de terminal Ambrogio te Muizen (Mechelen) vervoer aan naar specifieke bestemmingen, zoals Noord-Italië. De terminal Haesaerts in Mechelen heeft zich gespecialiseerd in het vervoer van gassen en vloeistoffen voor de chemische industrie. Een overzicht van de verschillende spoor/wegterminals wordt gegeven in figuur 10. (Macharis en Verbeke, 1999, Kreutzberger, 2005, Haesaerts Intermodal, 2008)



Figuur 10: Spoorwegterminals weergegeven op de kaart van België (Bron: The inland waterways departures list)

De operatoren IFB en TRW zijn beiden als partner betrokken in een Europees netwerk. Deze participatie biedt de mogelijkheid om een aantal belangrijke Europese bestemmingen te

bereiken. Zo was IFB tot 2004 betrokken in het North European Network (NEN) dat instond voor het vervoer van maritieme containers over korte afstand en Dry Port Muizen als centraal punt had. Dit NEN-netwerk is in juni 2004 veranderd in het binnenlandse National Rail Container Network of NARCON-netwerk met Antwerpen als centraal punt. Het NARCON-netwerk zorgt voor een goede spoorontsluiting van de Vlaamse diepzeehavens Zeebrugge en Antwerpen. Via dit netwerk kunnen containers gemakkelijk tussen het havengebied en de achterlandterminals getransporteerd worden. TRW is in het bezit van het CORTAX-netwerk. Het centrale punt van dit netwerk ligt in Ronet (Namen), van waaruit het intermodaal vervoer plaatsvindt met als belangrijkste bestemmingen Italië en Spanje. Ten slotte dient vermeld te worden dat de organisatie ICF over het kwaliteitsnetwerk Qualitynet beschikt. Dit netwerk maakt het mogelijk om goederen door middel van bloktreinen te vervoeren naar bestemmingen in 12 Europese landen. Voor reorganisatie van het ICF netwerk in december 2004 werd Metz als centrale hub gebruikt voor de belangrijkste verbindingen. Na reorganisatie van dit ICF netwerk bestaan er enkel nog rechtstreeks treinen. Het doel van deze reorganisatie was het aanbieden van sneller en betrouwbaarder vervoer op belangrijke trajecten door het gebruik van vaste dienstregelingen. Een overzicht van deze netwerken kan gevonden worden in bijlage 5. (Martens, 2002, Inter Ferry Boats, 2008, TRW, 2008)

5.2 Consolidatie of bundeling van goederenstromen

5.2.1 Omschrijving van het concept bundeling

Bookbinder en Higginson definiëren in Woxenius (2007) 'consolidatie' van goederen als 'een actieve inspanning om transportmiddelen meer efficiënt te benutten'. Macharis en Verbeke (1999) spreken in deze context van het 'bundelen' van goederen en omschrijven dit als 'de verzameling van goederen om een transporteenheid te vullen'. In Kreutzberger (2003) ten slotte wordt 'bundeling' omschreven als 'het proces van het overbrengen van goederen met verschillende oorsprongen en bestemmingen (of andere karakteristieken) in een gemeenschappelijke transporteenheid op gemeenschappelijke delen van hun routes'.

De beslissing om al dan niet tot consolidatie of bundeling over te gaan, is volgens Woxenius (2007) afhankelijk van een aantal parameters. Een eerste parameter is de vrachtgrootte. Hoe nauwer deze aanleunt bij volledige capaciteit, hoe meer een directe verbinding gebruikt zal worden en hoe minder gebundeld zal worden. Een tweede parameter is de transportafstand. Hier geldt dat hoe korter de af te leggen afstand is, hoe minder er geconsolideerd zal worden. Een derde variabele is de vraag naar een vaste transporttijd. Indien een specifiek gedefinieerde transporttijd (of time window) van toepassing is, zal minder snel tot consolidatie overgegaan

worden. De productkarakteristieken is een vierde variabele die van belang is. Afhankelijk van deze karakteristieken komen bepaalde goederen meer in aanmerking om gebundeld te worden. Hier geldt de regel dat hoe specifiek de goederen zijn, hoe meer ze in aanmerking komen voor rechtstreeks transport. Een laatste parameter ten slotte is de beschikbaarheid van andere goederen langs de route. Hierbij geldt dat hoe meer goederen aanwezig zijn langs de intermodale route, hoe groter de kans op consolidatie is. (Woxenius, 2007)

Het is evenwel noodzakelijk het concept 'bundeling' duidelijk te onderscheiden van het concept 'groepage'. Met dit laatste wordt bedoeld dat kleine goederenhoeveelheden samengevoegd wordt binnen één en dezelfde ladingseenheid. Met bundeling daarentegen wordt het samenvoegen van verschillende ladingseenheden, in de meeste gevallen containers, in één vervoerseenheid bedoeld. Terminaloperatoren kunnen toegevoegde waarde creëren door zowel bundeling als groepage aan te bieden. (Belgian Public Planning Service Science Policy, 2003)

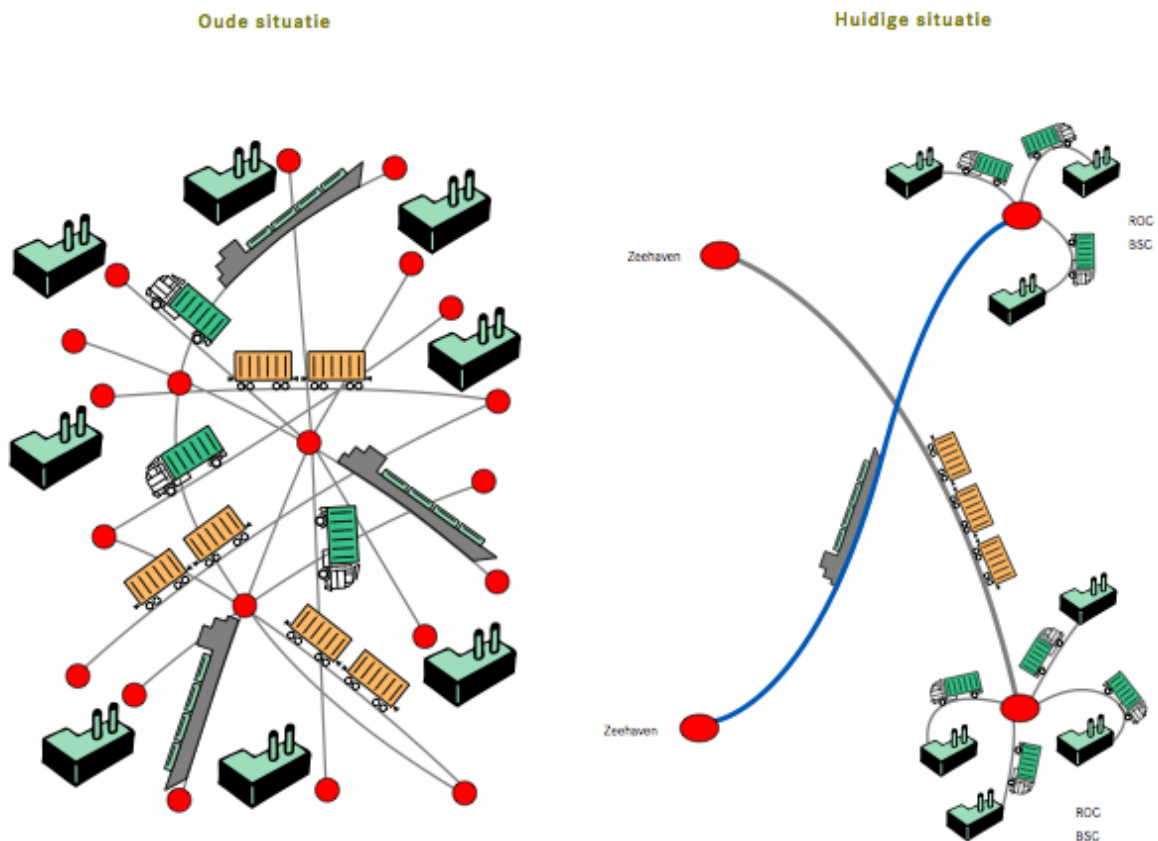
5.2.2 Beoogde voordelen van het bundelen van goederenstromen

In Kreutzberger (2003) en Konings (2006) worden een aantal voordelen aangehaald die men tracht te behalen door het bundelen van goederen. Allereerst vindt een toename van de schaalvoordelen plaats doordat een hogere beladingsgraad gerealiseerd wordt of doordat de transporteenheden zelf vergroot worden. De toename van de transportfrequentie en bijgevolg de vermindering van het tijdsinterval tussen twee opeenvolgende transporten is een volgend belangrijk voordeel. Een ander pluspunt is dat meer bestemmingen bereikt kunnen worden vanuit elke beginterminal. Dit betekent dat het verzorgingsgebied of de aangeboden transportmarkt vergroot en/of geïntensifieerd kan worden. Een laatste voordeel is de mogelijkheid om de afstand van het voor- en natransport te doen verminderen. Het aandeel van het voor-en natransport wordt namelijk kleiner naarmate de netwerkaafstanden afgelegd door de hoofdmodaliteit groter worden. Met hoofdmodaliteit wordt het binnenvaart- of spoorweggedeelte van de intermodale keten bedoeld. Vermits dit voor- en natransport overwegend via het wegvoer plaatsvindt, wordt bijgevolg een modale verschuiving teweeggebracht. In Trip en Bontekoning (2002) wordt vermeld dat deze voordelen zorgen voor een kostendaling en een toename van de kwaliteit van de geleverde intermodale diensten.

Voor het intermodaal vervoer vormt het consolideren of samenvoegen van goederenstromen een belangrijk onderwerp. Deze consolidatie kan echter plaatsvinden op twee verschillende niveaus. Enerzijds kunnen goederenstromen reeds op het niveau van de verladers samengevoegd worden, anderzijds kan dit gebeuren op initiatief van de verschillende terminals. Op beide niveaus is een intense samenwerking vereist tussen de respectievelijke verladende en vervoerende partijen onderling. (Theys et al., 2008)

5.3 Consolidatie van goederenstromen door verladerssamenwerking

Met verladerssamenwerking wordt bedoeld dat verschillende verladers (producenten en/of groothandelaars) partners worden met als belangrijkste doelen het verminderen van de logistieke kosten en een betere dienstverlening voor consumenten mogelijk maken. Dit is, zoals in het vorige hoofdstuk reeds vermeld, een vorm van horizontale samenwerking aangezien verschillende concurrenten samenwerken. Het basisidee van een samenwerkingsverband tussen verladers wordt weergegeven in figuur 11.

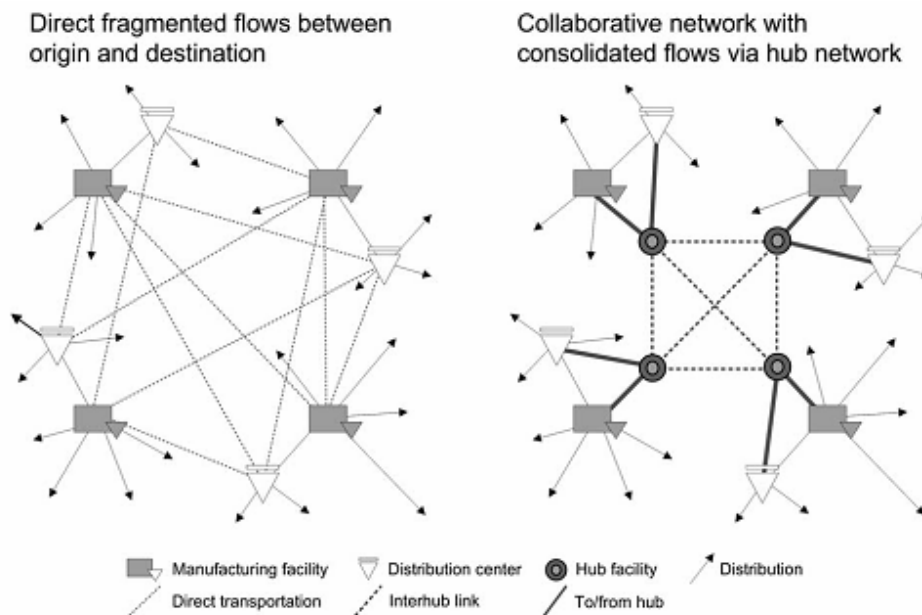


Figuur 11: Bundeling van goederenstromen door verladerssamenwerking (Bron: Bureau Voorlichting Binnenvaart, 2008)

Links in figuur 11 wordt de oude situatie weergegeven waarin het vervoer van goederen per bedrijf afzonderlijk georganiseerd wordt. Rechts in figuur 11 wordt de nieuwe situatie getoond. Hier worden de individuele transportstromen gebundeld om stromen van een voldoende grote omvang te verkrijgen die gemakkelijk tussen zeehaven en hinterland getransporteerd kunnen worden. De goederen komen samen in een centrale terminal waar ze geconsolideerd worden en van waaruit het verdere hoofdtransport georganiseerd wordt. Doordat de goederen verzameld worden, wordt het mogelijk om over te schakelen op modi die beter geschikt zijn voor het

behandelen van grote volumes, zoals het intermodaal binnenvaart- en spoorvervoer. Door deze verladerssamenwerking worden schaalvoordelen gecreëerd die zorgen voor een kostenvoordeel. Tevens kan de overgang gemaakt worden naar meer duurzame transportmodi. (Van der Ham, 2006; Bureau Voorlichting Binnenvaart, 2008)

Groothedde et al. (2005) stellen een 'collaborative hub' netwerk voor als oplossing voor de problemen en inefficiënties van het hedendaagse wegvervoer. Het werkingsprincipe van zulk 'collaborative hub' netwerk bestaat erin dat de binnenvaart ingezet wordt voor het inter-hub transport. Parallel aan dit hubnetwerk wordt rechtstreeks wegvervoer ingeschakeld teneinde een snel reactievermogen en een zekere mate van flexibiliteit te behouden. In dit 'collaborative hub' netwerk is het belangrijk dat verladers op een duurzame manier samenwerken opdat een gesynchroniseerde organisatie van het netwerk gegarandeerd blijft. Zonder een samenwerkingsverband is het voor de verladers vaak niet mogelijk om de noodzakelijke schaalgrootte op zichzelf te behalen en een kostenefficiënt intermodaal netwerk te bedienen. Groothedde et al. (2005) beweren dat de ontwikkeling van een hubnetwerk noodzakelijk is om deze schaalgrootte te bereiken.

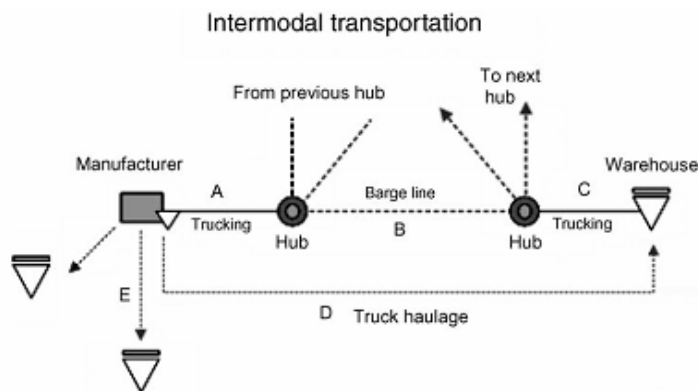


Figuur 12: Gefragmenteerde goederenstromen versus de consolidatie van goederenstromen door middel van een hubnetwerk (Bron: Groothedde et al., 2005)

In figuur 12 wordt een duidelijk beeld gegeven van de overgang naar een 'collaborative hub' netwerk. Links wordt de situatie weergegeven waarin de productstromen tussen productielocaties van producenten en magazijnen van (klein)handelaars plaatsvinden per vrachtwagen. Door een toenemend belang van regelmatige leveringen, kleinere geleverde

hoeveelheden en een hoge betrouwbaarheid is de kostenefficiëntie van producenten onder druk komen te staan. Om te voldoen aan de steeds strenger wordende consumentenvereisten wordt van verladere verwacht dat ze in staat zijn om kleinere goederenhoeveelheden frequenter te verzenden. Dit probleem kan opgelost worden door de productstromen van verschillende verzenders te consolideren en te verzenden door middel van een 'collaborative hub' netwerk. Door het creëren van grote goederenstromen op verbindingen tussen een beperkt aantal hubs wordt het mogelijk om meer frequent en meer efficiënt goederen te verschepen. De additionele kosten die gepaard gaan met extra behandeling, overslag en transport van en naar de hub worden gecompenseerd door schaalvoordelen.

In figuur 13 wordt de combinatie van het hubnetwerk met het rechtstreeks vervoer in meer detail verduidelijkt. In deze figuur wordt aangetoond dat de twee mogelijkheden rechtstreeks vervoer en transport via het hubnetwerk parallel aan elkaar gebruikt kunnen worden. Hieruit blijkt dat de capaciteit van binnenvaartschepen gecombineerd wordt met het reactievermogen en de flexibiliteit van het wegtransport. Door gebruik te maken van een hubnetwerk in combinatie met rechtstreeks vervoer wordt gebruikgemaakt van de voordelen van beide mogelijkheden. Op deze manier worden zowel schaalvoordelen als 'economies of scope' gegarandeerd. De twee vervoersmodaliteiten opereren parallel aan elkaar en maken het mogelijk om grote en voorspelbare volumes aan te passen aan pieken in de vraag. Het idee is dat het aandeel van de vraag dat op voorhand nauwkeurig voorspeld kan worden door het hubnetwerk verzonden wordt. Aan de onvoorspelbare vraag kan voldaan worden door middel van rechtstreeks wegvervoer.



Figuur 13: Het concept van een intermodaal hubnetwerk (Bron: Groothedde et al., 2005)

Dit concept werd door Groothedde et al. (2005) ook nagegaan voor een praktijksituatie. Meer bepaald zou de markt van de 'fast moving consumer goods' (FMCG), bijvoorbeeld voedingswaren, een groot potentieel bezitten om een 'collaborative hub' netwerk op te starten. Deze markt wordt namelijk gedomineerd door een relatief klein aantal kleinhandelaars wat ervoor zorgt dat goederenstromen relatief gemakkelijk geconsolideerd kunnen worden. Ook de

grote volumes en frequente verzendingen maken dit een zeer aantrekkelijk segment voor een hubnetwerk. Ten slotte zorgt de huidige problematiek van het wegtransport aangaande betrouwbaarheid en stijgende kosten ervoor dat meer gekozen wordt voor alternatieve transportmogelijkheden.

5.4 Consolidatie van goederenstromen door middel van een complex terminalnetwerk

Trip en Bontekoning (2002) oordelen dat het hedendaags intermodaal transport moeilijkheden ondervindt om met het unimodaal wegvervoer te concurreren wat het goederentransport over korte afstand betreft. In hoofdstuk twee werd eveneens geduïd op het bestaan van break-even afstanden waaronder het intermodaal vervoer theoretisch niet kan concurreren met het unimodaal wegvervoer. Toch suggereren Trip en Bontekoning (2002) dat de mogelijkheid bestaat om het concurrentievermogen van intermodaal transport te verbeteren voor het vervoer over korte afstand. Om dit mogelijk te maken, dient overslag sneller te verlopen en goedkoper te worden. Overslag is voornamelijk de kostenbepalende factor voor intermodaal vervoer over korte afstand. Ook een toename in de kwaliteit van het intermodaal transport is noodzakelijk om de attractiviteit te verhogen. Dit impliceert hoofdzakelijk een verbetering van de betrouwbaarheid en flexibiliteit van het intermodaal transport.

Samenvattend kan vastgesteld worden dat een substantiële verbetering nodig is in de prijs/kwaliteit verhouding van de volledige intermodale transportketen. Momenteel hebben verscheidene factoren, zoals een gebrek aan betrouwbaarheid, hoge kosten, lange wachttijden, lage vertrekfrequenties en een beperkte ruimtelijke penetratie, een negatief effect op deze verhouding. Trip en Bontekoning (2002) beweren bijgevolg dat het noodzakelijk is dat meer transportstromen gebruik kunnen maken van het intermodaal vervoer opdat deze een belangrijke rol zou kunnen spelen in de transportmarkt. Hiertoe behoren vooral de kleinere goederenstromen en degene die plaatsvinden op relatief kleine afstand.

Teneinde het intermodaal goederenvervoer toegankelijker te maken voor verschillende soorten goederenstromen, kan een terminalnetwerk opgezet worden. Binnen dit terminalnetwerk wordt het mogelijk om goederenstromen op een efficiënte manier samen te voegen. Het accent ligt tegenwoordig echter voornamelijk op de bediening van rechtstreekse shuttlediensten tussen terminals en het havengebied. Op deze manier wordt getracht schaalvoordelen te behalen en de kosten van tussenliggende overslag of rangeren te minimaliseren. Het nadeel van zulk systeem is dat het enkel geschikt is voor grote transportstromen. Derhalve worden kleine goederenstromen nu vooral getransporteerd door middel van vrachtwagens. Het verzamelen en verdelen van de goederen wordt eveneens overgelaten aan het wegtransport. In Trip en

Bontekoning (2002) wordt geargumenteed dat de integratie van kleine goederenstromen in het intermodale systeem zou kunnen leiden tot een doeltreffende verhoging van het getransporteerde volume. Een toename van het transportvolume is vereist opdat een modale verschuiving mogelijk wordt. Door de implementatie van vernieuwende bundelingsconcepten en de invoering van innovatieve nieuwe-generatie terminals wordt het mogelijk om deze kleine goederenstromen op een economische manier in het intermodale systeem te integreren.

5.4.1 Verschillende bundelingsconcepten

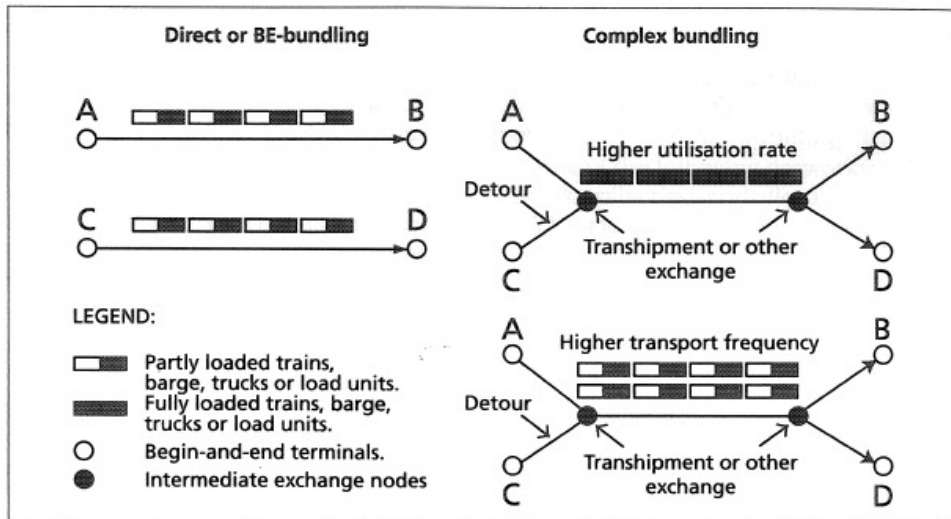
Indien een terminal beschikt over een voldoende grote hoeveelheid lading is het mogelijk om directe lijndiensten aan te bieden. Weg/spoorterminals zetten in dit geval rechtstreekse bloktreinen of shuttles in tussen een oorsprong- en een bestemmingsterminal. Het verschil tussen beide is dat bloktreinen voor één specifieke klant rijden en dat shuttletreinen volgens een bepaald tijdschema functioneren. Het gebruik van deze rechtstreekse verbindingen is vanuit een operationeel perspectief vaak het voordeligste alternatief omdat geen bundelings- of rangeeroperaties uitgevoerd dienen te worden. Maar in vele gevallen is echter sprake van een te klein ladingsaanbod om dit soort van rechtstreekse verbindingen te kunnen bedienen. In dit geval is het vereist goederenstromen te consolideren of te bundelen. (Macharis en Verbeke, 1999)

In Woxenius (2007) wordt eveneens geoordeeld dat intermodale operatoren te kampen hebben met significante uitdagingen om de concurrentie met het unimodaal wegtransport aan te kunnen. Woxenius (2007) beschouwt echter een verbetering van de organisatie van het intermodaal transportnetwerk als een mogelijkheid om dit concurrentievermogen te verhogen. Beslissingen over het transportnetwerk worden beïnvloed door een aantal factoren, voornamelijk door de aanwezige transportinfrastructuur, de aard van de transportvraag en de concurrentie met andere vervoerswijzen.

In de literatuur is in het verleden onderzoek verricht naar de verschillende mogelijke manieren om goederenstromen te bundelen. In de volgende paragrafen worden de belangrijkste netwerkontwerpen voorgesteld, zoals deze besproken zijn door Woxenius (2007), Kreutzberger (2005), Macharis en Bontekoning (2004), Kreutzberger (2003), Trip and Bontekoning (2002) en Macharis (1999). Als uitgangspunt wordt het onderzoek van Kreutzberger (2003) genomen.

In het onderzoek van Kreutzberger (2003) wordt een onderscheid gemaakt tussen enerzijds directe of begin-and-end-bundeling (BE-bundeling) en anderzijds complexe bundelingsnetwerken. Dit bundelingsprincipe wordt weergegeven in figuur 14. De linkerkzijde van deze figuur geeft twee rechtstreekse transportdiensten weer met elk een beladingsgraad

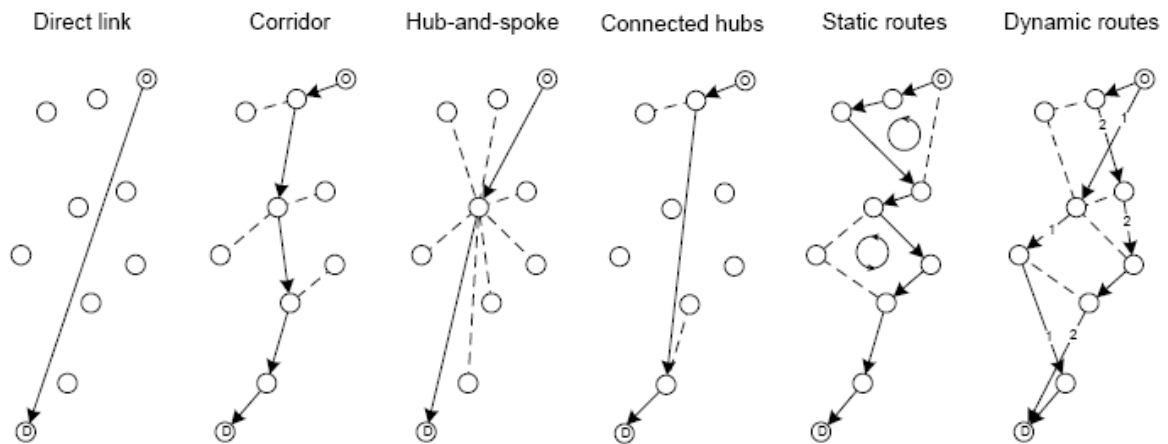
van 50%. Door de introductie van complexe bundelingsconcepten wordt het mogelijk om de eerder beschreven voordelen (namelijk hogere beladingsgraad, hogere transportfrequentie en groter bereik) te realiseren en wordt een efficiëntere vorm van intermodaal vervoer mogelijk. Dit wordt duidelijk weergegeven in de rechterzijde van figuur 14.



Figuur 14: Directe of BE-bundeling versus complexe bundeling (Bron: Kreutzberger, 2003)

Het gebruik van een vorm van complexe bundeling heeft niet enkel voordelen, maar ook nadelen. Zo is extra goederenbehandeling vereist bij tussenliggende knooppunten doordat overslag plaatsvindt of doordat treinwagons of groepen van wagons/duwboten opnieuw worden samengevoegd. Deze supplementaire goederenbehandeling verhoogt de kosten en de benodigde tijd en zorgt ervoor dat de betrouwbaarheid van de gehele transportketen mogelijk wordt vermindert. Een ander nadeel is het feit dat er omleidingen plaatsvinden op de routes van de meeste transportdiensten. De verklaring hiervoor is dat de transportafstanden groter zijn dan in een rechtstreekse terminaldienst zonder tussenliggende bundelingsactiviteiten. Deze bijkomende afstand veroorzaakt opnieuw een toename van de tijd- en afstandskosten. (Kreutzberger, 2003; Trip en Bontekoning, 2002)

Ook Woxenius (2007) stelt zes verschillende transportnetwerken voor. Deze alternatieven worden weergegeven in figuur 15. Bij het ontwerp van deze netwerken wordt uitgegaan van de assumptie dat voldoende infrastructuur aanwezig is om een directe verbinding tussen alle terminals in het netwerk mogelijk te maken. Tevens wordt verondersteld dat alle terminals in staat zijn om zowel als oorsprongs-, als bestemmings- en als transferpunt te dienen.



Figuur 15: Zes mogelijke manieren om van de oorsprong (O) naar de bestemming (D) te transporteren in een netwerk van tien knooppunten (Bron: Woxenius, 2007)

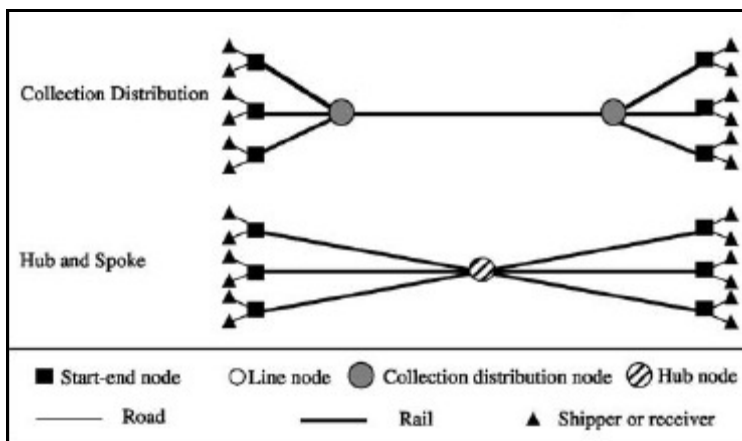
In het eerste alternatief wordt een **directe verbinding** weergegeven. Hier vindt het transport rechtstreeks plaats tussen de oorsprong- en bestemmingsterminal en zijn geen andere verbindingen aanwezig. Dit netwerk komt overeen met het zojuist vernoemde direct of BE-bundelingsnetwerk van Kreuzberger (2003). In Macharis en Bontekoning (2004) wordt dit een punt-tot-punt netwerk genoemd. Aangezien een punt-tot-punt consolidatie van goederenstromen de gemakkelijkste en meest haalbare manier is om de diensten te organiseren, wordt dit netwerk ook het meeste toegepast door netwerkoperatoren. De volgende vijf netwerkontwerpen komen overeen met mogelijke ontwerpen van een complex bundelingssysteem, zoals gedefinieerd in Kreuzberger (2003, 2005).

Het tweede alternatief, een transport '**corridor**' netwerk, maakt gebruik van een transportstroom met een hoge dichtheid die plaatsvindt langs de 'corridor' of hoofdas en korte transporten naar knooppunten die op deze corridor liggen. De knooppunten zijn in dit geval hiërarchisch geordend en er wordt naar verwezen als corridor- en satelliet knooppunten. In dit voorbeeld is O een satelliet knooppunt en D een corridor knooppunt. In elk knooppunt kunnen goederen overgeslagen en gebundeld worden zodat een grote goederenstroom gecreëerd wordt op de hoofdas. In Macharis en Bontekoning (2004) en Kreuzberger (2003) wordt naar zulk netwerk verwezen als zijnde een lijnnetwerk of L-netwerk.

In een **hub-and-spoke netwerk**, of HS-netwerk, wordt één knooppunt als 'hub' of draaischijf gebruikt en alle goederenzendingen moeten een beroep doen op deze hub. Dit geldt zelfs voor verzendingen tussen aangrenzende knooppunten. Terminals kunnen dan ofwel een hub (draaischijf) terminal of een spoke (spaaak) terminal voorstellen. In dit ontwerp is het een uitdaging om een groot aantal onderling afhankelijke transportdiensten te coördineren. Ook de hub dient technologisch en infrastructureel voldoende georganiseerd te zijn en over een grote

capaciteit te beschikken. Deze hub gaat namelijk te maken krijgt met een uitgebreide doorvoer en een groot aantal additionele uitwisselingen. De efficiëntie van de hubterminal is in een HS-netwerk bepalend voor de efficiëntie van de volledige intermodale keten. Ook in het werk van Kreutzberger (2003) wordt een hub-en-spoke netwerk besproken. Dit netwerk is hier één manier om complexe bundeling concreet weer te geven.

Ook het '**connected hubs**' netwerkontwerp heeft een hiërarchische lay-out. Hier worden lokale goederenstromen verzameld in hubs die op hun beurt verbonden zijn met hubs in andere regio's. Dit ontwerp kan ook omschreven worden als een regionaal consolidatienetwerk. Ook hier zijn de terminals ofwel hub terminals ofwel spoke terminals. Dit netwerk komt grotendeels overeen met het in Macharis en Bontekoning (2004) voorgestelde trunk-collectie-en-distributie netwerk of TCD-netwerk. Een weergave van een TCD-netwerk kan teruggevonden worden in figuur 16.



Figuur 16: Vier verschillende vormen van consolidatienetwerken (Bron: Macharis en Bontekoning, 2004:408)

Uit figuur 16 blijkt duidelijk dat een collectie-distributie netwerk over twee additionele overslagpunten beschikt waar bundeling en hergroepage plaatsvindt. Tussen deze twee knooppunten vindt een goederenstroom van een aanzienlijke grootte plaats. Voorts beschikt dit netwerk eveneens over twee lokale netwerkgedeeltes waar respectievelijk de consolidatie en de distributie van de goederen plaatsvinden.

Bij het '**static routes**' netwerkontwerp worden een aantal verbindingen aangeduid die op regelmatige basis gebruikt worden. In dit model kunnen verschillende knooppunten als transferpunt gebruikt worden langsheen de route. Gewoonlijk wordt slechts een gedeelte van de lading overgeplaatst en blijft de rest op het transportmiddel tot het volgende knooppunt. In dit systeem wordt gebruik gemaakt van de term 'exchange terminal' of uitwisselingsterminal

wanneer slechts een deel van de lading uitgewisseld wordt. De term 'gateway' wordt gehanteerd wanneer volledige ladingen uitgewisseld worden.

Het '**dynamic routes' netwerkontwerp** ten slotte biedt de hoogste vorm van flexibiliteit. Afhankelijk van de werkelijke vraag gaan bepaalde verbindingen opgenomen worden in het netwerk. Door het grote aantal mogelijkheden om van een bepaalde oorsprong naar een bepaalde bestemming te gaan, biedt dit netwerk een grote flexibiliteit. Het is eveneens mogelijk om tijdens het transport zelf de route nog te veranderen.

Uit het voorgaande kan geconcludeerd worden dat intermodale transportnetwerken een complexe vormgeving hebben en dat verschillende basisontwerpen mogelijk zijn. Deze netwerkontwerpen sluiten elkaar niet wederzijds uit maar verschillende combinaties zijn mogelijk. Welk type netwerk het meest geschikt is, hangt af van de markt die bediend wordt. Uiteraard zullen markten met grote geconcentreerde transportstromen andere netwerkoperaties vereisen dan markten met kleine verspreide stromen. (Konings, 2006)

Wat het intermodaal spoorvervoer betreft, stelt Woxenius (2007) vast dat in Europa steeds meer directe shuttletreinen ingezet worden ten koste van bundelingsnetwerken. Directe treinen maken een goede dienstverlening mogelijk op transportassen die grote goederenstromen over een grote afstand vervoeren. Op lijnen waar een groot basisvolume beschikbaar is, zorgen directe shuttletreinen voor schaalvoordelen. Op lijnen waar onvoldoende volume beschikbaar is daarentegen, zijn deze directe treinen onderhevig aan capaciteitsrisico's. Kreutzberger (2005) en Theys et al. (2008) bevestigen de overgang van een situatie van complexe bundelingsnetwerken naar directe bundeling voor het intermodaal spoorvervoer. Zij stellen dat de klassieke spoornetwerken vereenvoudigd worden. Meer bepaald worden intermodale hub-and-spoke netwerken afgeschaft en wordt overgaan naar rechtstreekse of zogenoemde gateway verbindingen. Deze trend wordt enerzijds veroorzaakt door inefficiënte uitwisselingsoperaties in de knooppunten. Anderzijds is het volume op de 'spokes' verminderd door nieuwkomers op de markt en door toenemende intermodale volumes die in de havens worden behandeld.

5.4.2 Nood aan nieuwe-generatie terminals

Zoals eerder vermeld, wordt in een complex bundelingsnetwerk een grote druk geplaatst op de terminals in de knooppunten. Dit betekent dat complexe bundelingsnetwerken ook complexe knooppuntoperaties vereisen. In een hub-and-spoke netwerk is de efficiëntie van de hubterminal bepalend voor de doelmatigheid van het volledig intermodaal netwerk. Vandaar dat de kwaliteit van de terminals in complexe bundelingsnetwerken van cruciaal belang is. Deze terminals dienen een grote capaciteit aan te kunnen en overslag tegen een hoge snelheid uit te

voeren. Het is eveneens noodzakelijk dat de terminals voorzien zijn van een toepasselijke infrastructuur en dat ze beschikken over een intern transport- of sorteersysteem. In Trip en Bontekoning (2002) wordt geoordeeld dat de huidige terminals niet aan deze voorwaarden voldoen en dat nieuwe-generatie terminals vereist zijn. Hiermee worden terminals bedoeld die in staat zijn om complexe operaties uit te voeren die vereist zijn in deze complexe bundelingsnetwerken. Enkel dan is het mogelijk om de competitiviteit van het intermodaal vervoer te verhogen zonder de tijdsduur en de financiële kosten op negatieve wijze te beïnvloeden. De implementatie van een complex bundelingsnetwerk in combinatie met nieuwe-generatie terminals kan volgens Trip en Bontekoning (2002) een drastische verbetering in de prijs/kwaliteit verhouding van het intermodaal vervoer teweeg brengen. In de literatuur werden een aantal artikels gepubliceerd met betrekking tot nieuwe-generatie terminals. Zo heeft Knut (2002) de ontwikkeling van het intermodaal terminalconcept 'Mega Hub' behandeld. Ook Rotter (2004) geeft een overzicht van het concept 'Mega Hub' en de voordelen die dit meebrengt voor intermodale operatoren.

5.4.3 Bundelingsconcepten toegepast in Belgische intermodale netwerken

De bestaande Belgische netwerken maken vooral gebruik van bundelingsconcepten wat het intermodaal spoorvervoer betreft. De reden hiervoor is dat het spoorvervoer over een dicht netwerk beschikt en hierdoor in aanmerking komt voor deze concepten. In de volgende paragrafen wordt een kort overzicht gegeven van de bundelingsconcepten die in de Belgische intermodale netwerken toegepast worden.

a) Spoorvervoer

Het eerder vermelde North European Network (NEN) was een HS-netwerk dat enkele internationale verbindingen bevatte. Tot 2004 was dit netwerk geconcentreerd rond het rangeerdepot van Muizen. In 2004 is het NEN-netwerk hervormd tot NARCON-netwerk. Het NARCON-netwerk is een puur binnenlands netwerk geworden dat geconcentreerd is rond de 'mainhub' terminal van Antwerpen. In het NARCON-netwerk worden voornamelijk goederen getransporteerd van en naar de havens. Tussen de terminals onderling komen nauwelijks goederenstromen voor. Vandaar dat ook wel gesproken wordt van een 'directed' hub-and-spoke netwerk. In bijlage 4 worden zowel het NEN-netwerk als het NARCON-netwerk weergegeven.

Het NEN-netwerk werkte met complete treinen, terwijl het NARCON-netwerk shuttlediensten gebruikt. Deze verandering heeft een kwaliteitsverbetering veroorzaakt. Meer bepaald is de tijdsbetrouwbaarheid substantieel toegenomen. Wat de kosten betreft, vereist het nieuwe

netwerk minder spoorwagens maar wordt soms geconfronteerd met een lage beladingsgraad, wat een typisch shuttle kenmerk is. (Kreutzberger, 2005)

In het werk van Vannieuwenhuysse et al. (2007) wordt dieper ingegaan op de werking van dit NARCON-netwerk. Ook hierin wordt gesteld dat het om een HS-netwerk gaat waar alle goederenstromen gebundeld en gehergroepeerd worden in de main hub Antwerpen. Vanuit deze main hub worden frequente verbindingen aangeboden met de verschillende inland terminals. Vanuit de inland terminals vindt het natransport plaats via het wegvervoer. De verschillende inland terminals worden in dit netwerk vooral gezien als doorgeefluiken van goederen tussen de havens en hun eindbestemmingen.

Het andere belangrijke spoornetwerk van België, namelijk het CORTAX-netwerk, is eveneens een HS-netwerk. Hier fungeert Ronet nabij Charleroi als hub waar de treinen gegroepeerd en gecombineerd worden alvorens goederen naar internationale bestemmingen te vervoeren. Het CORTAX-netwerk is een combinatie van een HS-netwerk en aanvullende directe punt-tot-punt verbindingen. Er wordt gebruik gemaakt van een HS-netwerk en vanaf het moment dat een bepaalde verbinding in dit netwerk over een voldoende groot volume beschikt, wordt deze uit het netwerk gehaald. Op deze ontkoppelde verbindingen worden vervolgens rechtstreekse shuttletreinen ingezet. Shuttletreinen worden dus verkozen vanaf het moment dat deze rendabel zijn. De redenering hierachter is dat deze rechtstreekse verbindingen kostenefficiënter, betrouwbaarder en sneller zijn. Ook in dit netwerk wordt het vervoer over de weg gebruikt voor het voor- en natransport. (Vannieuwenhuysse et al.)

b) Binnenvaart

In Macharis en Verbeke (2004) en Konings (2006) wordt opgemerkt dat wat de binnenvaart betreft nog weinig sprake is van de vorming van netwerken. De Belgische intermodale terminals werken voornamelijk met lijndiensten tussen de terminals en de havens van Antwerpen en Rotterdam. De meeste binnenvaartterminals worden beheerd door privé-ondernemingen. Dit staat in tegenstelling tot het spoorvervoer waar de meeste terminals in handen zijn van de twee operatoren IFB en TRW. Het is bijgevolg moeilijker om een samenwerkingsverband op te starten tussen verschillende binnenvaartterminals. De moeilijke samenwerking tussen binnenvaartterminals werd tevens bevestigd in het pilootproject SIKZNEB. De doorvaarttijd dient tevens zo klein mogelijk te zijn opdat concurrentie mogelijk is met het wegvervoer wat het vervoer over korte afstand betreft.

In Kreutzberger (2005) geeft aan dat complexe bundeling noodzakelijk zal worden voor de binnenvaart. De reden hiervoor is dat de schaalgrootte van de transporteenheden (vaartuigen) sterker toegenomen is dan het transportvolume. Tegenwoordig zijn binnenschepen met een

capaciteit van 400 TEU geen uitzondering. De toepassing van bundelingsconcepten zal vereist zijn teneinde een aanvaardbare beladingsgraad voor deze binnenschepen te bereiken.

De voordelen van het implementeren van bijvoorbeeld punt-tot-punt netwerken, lijnnetwerken en hub-and-spoke netwerken in de binnenvaart worden meer en meer onderzocht. Zo probeert Konings (2003, 2006) inzicht te krijgen in het gebruik van hub-and-spoke (HS) netwerken in de binnenvaart. Uit zijn onderzoek blijkt dat HS-netwerken kunnen resulteren in efficiëntere binnenvaartdiensten. Dit kan doordat binnenschepen meer productief zijn door geoptimaliseerde dienstregelingen en een meer efficiënt gebruik van de capaciteit van vaartuigen. Een belangrijke vereiste is echter dat een goedkope, snelle en betrouwbare uitwisseling van containers mogelijk is in de hub terminal. Konings (2006) merkt echter op dat zulk HS-netwerk enkel ontwikkeld kan worden op een voldoende grote schaal. De vaarafstanden dienen lang genoeg te zijn opdat concurrentie met het wegtransport economische haalbaar is.

Konings (2007) geeft aan dat de manier waarop binnenschepen momenteel behandeld worden in havens ver van optimaal is. Deze inefficiëntie zou de toekomstige rol van de binnenvaart in het achterland in gevaar brengen. Teneinde de behandeling van binnenschepen in de zeehavens te verbeteren en wachttijden te verminderen, is een reorganisatie van de binnenvaartdiensten nodig. Konings (2007) stelt voor om de bestaande intermodale diensten te splitsen in 'collectie-distributie' operaties in de zeehaven en in een 'trunk line' operatie in het achterland. De doelstelling is dat het aantal bezoeken aan terminals in de zeehavens drastisch verminderd wordt. Hierdoor verbetert de productiviteit en de kostenefficiëntie van de binnenvaart.

Vannieuwenhuysse et al. (2007) daarentegen verdedigen het gebruik van corridor- of lijnnetwerken. Zij constateren dat in België drie belangrijke corridors onderscheiden kunnen worden die samenvallen met de grote waterwegen/autosnelwegen. De drie corridors zijn: de Noord-Zuid corridor Zeekanaal Brussel-Schelde, de Oost-West corridor Albertkanaal en de terminals in het Zuid-Westen van Vlaanderen. Inland terminals die in de betreffende corridors gelegen zijn, zouden kunnen samenwerken om een transportstroom met een hoge dichtheid te creëren. Vannieuwenhuysse et al. (2007) spreken in dit opzicht van clustervorming, wat analoog is aan het samenvoegen van goederenstromen. Clusteren is tevens een uitgangspunt in het concept 'Extended Gateway® Vlaanderen' dat door het Vlaams Instituut voor de Logistiek ontwikkeld is. Het basisidee van dit concept is dat logistieke activiteiten zich dienen te vestigen daar waar zij een minimale totale logistieke kost veroorzaken voor organisaties. Deze optimale locatie bevindt zich in vele gevallen op plaatsen waar reeds gelijkaardige activiteiten uitgevoerd worden. Verwante logistieke activiteiten dienen met andere woorden geclusterd te worden. Hierdoor is het mogelijk om op bestaande trafieken in te pikken en goederenstromen van een grote omvang te creëren.

In dit hoofdstuk hebben we geconstateerd dat intermodale transportsystemen vaak gekarakteriseerd worden door een netwerkstructuur. Hierdoor wordt het mogelijk om te genieten van schaalvoordelen door goederenstromen te bundelen. Tevens wordt het mogelijk om een frequente dienstverlening aan te bieden. De planning van vervoersdiensten binnen een netwerkstructuur is echter veel moeilijker dan de planning van rechtstreekse vervoersdiensten. Konings et al. (2006) merken binnen deze context op dat de organisatie van intermodale transportdiensten een belangrijke rol speelt voor de kostenefficiëntie en de kwaliteit van het intermodaal vervoer. Daarom behandelt het volgende hoofdstuk de planning van intermodale netwerken meer in detail. Hier wordt vooreerst dieper ingegaan op de planningsproblemen waarmee intermodale operatoren te kampen hebben. Vervolgens komen de planningsmodellen 'netwerk design' en 'service netwerk design' aan bod. Ten slotte worden twee algemene formuleringen gegeven van een netwerk design probleem. Eén van deze formuleringen zal tevens de basis vormen voor het praktijkgedeelte van deze eindverhandeling.

Hoofdstuk 6: Het gebruik van planningsmodellen in intermodaal vervoer

De planning van vervoersdiensten binnen een intermodale netwerkstructuur is een complexere aangelegenheid dan de planning van rechtstreekse vervoersdiensten. Aangezien de organisatie van intermodale vervoersdiensten een belangrijke rol speelt voor de kostenefficiëntie en de kwaliteit van het intermodaal vervoer, gaat dit hoofdstuk hier dieper op in.

In dit hoofdstuk wordt getracht een inzicht te verwerven in de modelleringstechnieken uit het vakgebied van operationeel onderzoek die toepasbaar zijn in de intermodale vervoerssector. Om een efficiënte planning van vervoersdiensten mogelijk te maken, zijn onder de noemer 'freight transport planning' een aantal globale modellen ontwikkeld. Met betrekking tot het intermodaal vervoer wordt overwegend gebruik gemaakt van 'netwerk design' en 'service netwerk design' modellen. Deze planningsmodellen zijn in staat een netwerk te modelleren waarin verschillende transportmodi en verscheidene producten voorkomen.

Allereerst wordt in dit hoofdstuk een overzicht gegeven van de planningsproblemen waar intermodale operatoren mee te kampen hebben. Hierna wordt een duidelijke inleiding gegeven tot de planningsmodellen 'netwerk design' en 'service netwerk design'. Tevens komen twee formuleringen van een algemeen netwerk design model aan bod. Ten slotte worden de oplossingsmethoden van netwerk design modellen kort besproken.

De planningsmethodologie die in dit hoofdstuk behandeld wordt, vormt de basis voor de uitwerking van het kostenmodel in het praktijkgedeelte van deze eindverhandeling. Dit hoofdstuk vormt zodoende de aanzet tot de praktijkstudie.

6.1 Planningsproblemen in intermodaal vervoer

6.1.1 Verschillende planningsniveaus

In Macharis en Bontekoning (2004) wordt een duidelijk overzicht gegeven van planningsproblemen waar de verschillende intermodale operatoren frequent mee geconfronteerd worden. Er kan een onderscheid gemaakt worden tussen strategische, tactische en operationele problemen. Macharis en Bontekoning (2004) argumenteren in hun onderzoek dat zich op elk niveau mogelijkheden aanbieden om technieken uit het domein operationeel onderzoek toe te

passen. Deze technieken maken het mogelijk om analyse- en beslissingsprocessen van intermodale operatoren te ondersteunen.

6.1.2 *Strategische planning*

Veel voorkomende **strategische problemen** hebben voornamelijk te maken met de planning van de infrastructuur. Dit houdt in dat beslissingen genomen worden aangaande de locatie van terminals, de netwerkconfiguratie en het ontwerp en de indeling van terminals. Met deze beslissingen gaan vaak grote investeringsbedragen gepaard en de beslissingen zijn meestal moeilijk te veranderen. (Macharis en Bontekoning, 2004)

Met betrekking tot het intermodaal vervoer, is de aaneenschakeling van de verschillende vervoersmodi tot intermodale transportketens een frequent onderzocht domein. Daarenboven blijkt de bepaling van de optimale locatie van intermodale terminals een veel voorkomend strategisch vraagstuk te zijn. Ook de impact van een capaciteitstoename op het gebruik van de verschillende infrastructuurnetwerken dient overwogen te worden. (Macharis en Bontekoning, 2004)

De ontwikkeling van het intermodaal netwerk is een belangrijke strategische beslissing. Binnen dit intermodaal netwerk dienen beslissingen aangaande investeringen in verbindingen en knooppunten (terminals) gemaakt te worden. In het verleden werd reeds aandacht besteed aan de ontwikkeling van wiskundige modellen die strategische beslissingen ondersteunen. Zodoende zijn netwerkmodellen ontstaan die de planning van de netwerkinfrastructuur ondersteunen. Het probleem waarmee intermodale operatoren lange tijd geconfronteerd werden, was dat de meeste modellen ontwikkeld waren voor slechts één modus. Bijgevolg hadden de netwerkmodellen moeilijkheden met intermodale stromen. In Macharis en Bontekoning (2004) wordt aangegeven dat inmiddels netwerkmodellen ontwikkeld zijn die in staat zijn intermodale stromen te hanteren. Onder meer Crainic et al. (1990), Loureiro (1994), Jourquin et al. (1999) en Southworth and Peterson (2000) hebben een belangrijke bijdrage geleverd op het vlak van de ontwikkeling van netwerkmodellen. Deze modellen besteden nadere aandacht aan de gebruikte knooppunten (of terminals) die meerdere traditionele netwerken verbinden. Vele netwerkmodellen worden gebruikt voor het bepalen van de optimale locatie van potentiële terminals of investeringsprioriteiten in het netwerk. Een verwante toepassing ligt in de locatieanalyse waar een aantal concrete locaties geëvalueerd worden opdat de meest optimale vestigingsplaats geselecteerd wordt. In België vond bijvoorbeeld een locatieanalyse plaats door middel van het LAMBIT-model (Locatie Analyse Model voor Belgische Intermodale Terminals). (Macharis en Bontekoning, 2004, Macharis en Verbeke, 2004)

6.1.3 *Tactische planning*

Op **tactisch niveau** dient een netwerkoperator te bepalen welke intermodale diensten hij zal aanbieden. Het opstellen van een dienstregeling en een adequate prijszetting zijn belangrijke tactische beslissingen. In een traditioneel spoornetwerk rijden treinen enkel wanneer ze geheel gevuld zijn en in conventionele binnenvaartsystemen varen binnenschepen enkel op vraag uit. In tegenstelling tot deze traditionele vervoerssystemen, maakt een intermodaal netwerk veelal gebruik van vaste dienstregelingen. Teneinde een intermodale dienstregeling op te kunnen stellen, is kennis vereist van het type consolidatienetwerk en van het productiemodel. Het consolidatienetwerk bepaalt de wijze waarop goederenstromen samengevoegd worden. Dit oefent op zijn beurt invloed uit op de mogelijke routebepaling van de vervoersmodi door het netwerk en welke knooppunten bediend kunnen worden. Het gebruikte productiemodel specificeert de bediening van de intermodale treinen en binnenschepen. Dit houdt in dat beslissingen gemaakt worden over de frequentie van de aangeboden dienst, de treinlengte/scheepsgrootte, de allocatie van uitrusting aan routes en de capaciteitsplanning van deze uitrusting. Daarenboven is de prijszetting van het intermodaal transportproduct een complexe aangelegenheid. De intermodale keten bestaat namelijk uit een aaneenschakeling van verschillende partijen, die elk een stuk van de keten beheren. Het intermodaal tarief is bijgevolg gebaseerd op de tarieven van deze verschillende actoren. (Macharis en Bontekoning, 2004)

6.1.4 *Operationele planning*

Het **operationeel niveau** houdt in dat managementbeslissingen genomen worden over de dagelijkse werking van de vervoersdiensten. Dit houdt onder meer in dat de beladingsgraad van treinen en binnenschepen, de herverdeling van treinwagons of duwschepen, en het beheer van de ladingseenheden en voertuigen beschouwd worden. Een typisch managementprobleem in intermodaal vervoer is de herpositionering van lege containers. (Macharis en Bontekoning, 2004)

Zoals eerder in dit hoofdstuk reeds aangegeven is, bestaan op elk planningsniveau modellen die de beslissingen van intermodale operatoren ondersteunen. Binnen het kader van deze eindverhandeling wordt voornamelijk aandacht besteed aan modellen die zich op het strategisch en tactisch niveau bevinden. Meer bepaald wordt dieper ingegaan op netwerk design en service netwerk design modellen.

6.2 Netwerk design en service netwerk design

Zoals reeds in vorige hoofdstukken aan bod gekomen is, worden intermodale transportsystemen doorgaans gekarakteriseerd door een netwerkstructuur. Op deze manier wordt het mogelijk te genieten van schaalvoordelen door het samenvoegen van goederenstromen. Deze geconsolideerde goederenstromen maken dat voldoende volume beschikbaar is om rechtstreekse lijndiensten te bedienen. Als dusdanig kan worden voldaan aan de frequentievereisten van verladers en expediteurs terwijl toch op een kostenefficiënte manier gewerkt wordt.

Het ontwerp van de netwerkstructuur en de planning van vervoersdiensten binnen een intermodale netwerkstructuur is echter complexer dan voor rechtstreekse vervoersdiensten. Zo zijn bijvoorbeeld elementen als terminal locaties, overslag, aanvoersystemen van voor- en natransport, routebepaling van het hoofdtransport en bundelingspolitiek van belang. Doorgaans functioneren deze intermodale netwerken via dienstregelingen. Deze dienstregelingen zorgen voor het verlies van een stukje flexibiliteit voor de gebruikers en veroorzaakt een extra planningsmoeilijkheid voor intermodale operatoren. Bovendien kunnen de nodige goederenoverdrachten voor wachttijden zorgen in transferpunten. Het bedienen van intermodale transportsystemen waar ladingen gebundeld worden en waar uitwisseling plaatsvindt tussen verschillende transportmodi is bijgevolg geen gemakkelijke taak. Pedersen (2005) oordeelt dat deze complexiteit vaak de reden is waarom rechtstreekse diensten boven intermodale systemen verkozen worden indien de situatie dit rechtvaardigt.

Met betrekking tot de planning van intermodale transportnetwerken dringen twee belangrijke vragen zich op. Enerzijds kan de vraag gesteld worden hoe de beslissing genomen wordt een bepaalde netwerkinfrastructuur of nieuwe terminals te construeren. Verder kan de vraag gesteld worden hoe operatoren de beslissing nemen een bepaalde intermodale dienst aan te bieden. Traditioneel worden kwantitatieve beslissingsmodellen gebruikt voor de ondersteuning van deze belangrijke strategische en tactische beslissingen. Crainic (2000) en Wieberneit (2008) geven aan dat netwerk design en service netwerk design modellen veelal gebruikt worden om deze beslissingen te ondersteunen. Deze modellen hebben het voordeel dat ze in staat zijn op een efficiënte manier geïntegreerde bedrijfsstrategieën, transportplannen en dienstregelingen te genereren, evalueren en selecteren. (Crainic, 2000, Pedersen, 2005, Wieberneit, 2008)

6.2.1 Netwerk design

'Netwerk design' modellen zijn algemene modellen die de fysieke structuur van een dienstennetwerk bepalen. Hiermee wordt bedoeld dat aan de hand van deze modellen bepaald

wordt welke verbindingen aangeboden worden in een netwerk en hoeveel beschikbare capaciteit voorzien wordt, gegeven de locaties van reeds bestaande faciliteiten. Bovendien kan met behulp van een netwerk design model bepaald worden waar de optimale locatie van een nieuwe intermodale terminal zich bevindt. Het algemene netwerk design probleem bestaat in het vinden van het ontwerp dat minimale totale kosten met zich meebrengt. Netwerk design modellen zijn in het algemeen relatief gemakkelijk te formuleren maar vaak moeilijk op te lossen. De oorzaak hiervoor is te vinden in capaciteitsbeperkingen voor verbindingen die vaak gemodelleerd worden met binaire of geheeltallige variabelen. Ook de productstromen die langs deze verbindingen gestuurd worden, zijn veelal geheeltallige variabelen. (Jaržemskienė, 2007)

Netwerk design modellen kunnen aangewend worden voor een uitgebreid aantal toepassingen, zoals telecommunicatie- en productiesystemen en transportplanning. Weergaven van verschillende netwerk design modellen en hun toepassingen kunnen gevonden worden in de artikels van Magnanti en Wong (1984), Minoux (1986), Ahuja et al. (1993), Crainic en Gendreau (2002), Ghamlouche et al. (2004), Pedersen (2005) en Yoon en Current (2008). Maar ook tal van andere transportproblemen worden uitvoerig in de literatuur bestudeerd. Zo hebben Cordeau et al. (1998) onderzoek gedaan naar optimalisatiemodellen die veelal gehanteerd worden bij transportproblemen in het spoorvervoer. Voor elke groep van problemen stellen zij een classificatie van modellen voor en beschrijven zij de belangrijkste kenmerken. De focus ligt in dit onderzoek op de modelstructuur en de algoritmische aspecten. Ook Crainic en Laporte (1997) geven in hun werk een overzicht van planningsmodellen die gebruikt worden in het goederenvervoer.

6.2.2 Service netwerk design

'Service netwerk design' modellen vormen een onderdeel van de grotere groep netwerk design modellen. Service netwerk design modellen behoren tot de tactische planningshorizon. Dit betekent dat ze gedetailleerder zijn dan de meer algemene netwerk design modellen. Service netwerk design gaat gepaard met de selecteren en plannen van de intermodale transportdiensten gegeven een netwerkinfrastructuur, kosten en transportvraag. Bovendien worden de eigenschappen, zoals vertrekfrequentie, van elke dienst bepaald. Deze modellen zijn vaak complexer dan netwerk design modellen gezien het grotere aantal operationele details die opgenomen worden. Een goed overzicht van service netwerk design modellen voor goederenvervoer kan gevonden worden in Crainic (2000), Dall'Orto et al. (2006) en Wieberneit (2008). In de literatuur zijn tevens een groot aantal toepassingen van service netwerk design modellen terug te vinden. Zo hebben bijvoorbeeld Jansen et al. (2004) een operationeel planningsstelsel ontwikkeld voor de transportplanning van de Deutsche Post. Ook Kim en Barnhart (1999) hebben een toepassing van een service netwerk design probleem onderzocht.

Zij hebben meer bepaald een model geformuleerd en opgelost voor een 'express package delivery' planningsprobleem. (Pedersen, 2005, Jaržemskienė, 2007)

6.3 Service netwerk design modellen

Crainic (2000) en Wieberneit (2008) geven aan dat service netwerk design modellen aangewend worden voor het ontwerp van het dienstennetwerk. Binnen dit dienstennetwerk dienen de intermodale diensten zorgvuldig gekozen en gepland te worden. Dit houdt in dat de routes van de goederenstromen bepaald worden en de terminaloperaties gedetailleerd beschreven worden. De output van een service netwerk design model is de dienstregeling en het operationeel plan. In Crainic (2000) wordt opgemerkt dat vervoersdiensten voornamelijk plaatsvinden tussen terminals of steden en dat ze betrekking hebben op verplaatsingen van goederen over relatief lange afstand. Bovendien kunnen de goederenstromen vervoerd worden door middel van verschillende vervoersmodi, zoals vrachtwagens, binnenschepen en de spoorwegen of door elke combinatie van deze middelen. Een belangrijk onderscheid tussen de modellering van netwerkssystemen en gewone deur-tot-deur vervoersdiensten is het feit dat consolidatie-activiteiten centraal staan. De aanwezigheid van terminals maakt dat zowel goederen als voertuigen samengevoegd, gehergroepeerd en uitgewisseld kunnen worden.

Een intermodale operator tracht een frequente dienstverlening tegen een minimale kost aan te bieden. Derhalve is het noodzakelijk dat de aanwezige middelen optimaal toegewezen en aangewend worden om transportbestellingen op een doelmatige wijze uit te voeren. Naar de consumenten toe is het belangrijk betrouwbare en kwaliteitsvolle diensten tegen een aanvaardbare kostprijs aan te bieden. (Crainic, 2000, Wieberneit, 2008)

6.3.1 Het service netwerk design probleem (SNDP)

Het algemeen SNDP kan als volgt omschreven worden. De intermodale operator krijgt de opdracht om een lading goederen te vervoeren die gekarakteriseerd wordt door verschillende herkomsten en/of bestemmingen en klantenvereisten. De onderliggende structuur van het transportsysteem bestaat uit een complex netwerk van terminals die onderling verbonden zijn door een groot aantal verbindingen. Hiernaast dient rekening gehouden te worden met leveringstijden, leveringsvoorwaarden, tijdsintervallen en verschillende fysische kenmerken van de goederen. (Crainic, 2000, Wieberneit, 2008)

Zoals reeds eerder vermeld, vindt in de meeste intermodale netwerken goederenconsolidatie plaats. Om dit mogelijk te maken worden terminals en/of hubs opgenomen in het netwerk. Een

terminal doet dienst als overslagpunt tussen de regionale vervoersdienst en de lange afstand-distributie. De terminal is met andere woorden het punt waar de zending het service netwerk binnenkomt of buitengaat. Een hub daarentegen is een centraal knooppunt waar grote goederenstromen samenkomen. Een 'dienst' wordt gedefinieerd als het transport van een lading tussen ofwel twee terminals, of een terminal en een hub, of twee hubs. Een dienstenroute, of eenvoudigweg 'route', is een opeenvolging van diensten met een bepaalde vervoersmodus. Alle dienstenroutes tezamen maken het 'dienstennetwerk' op. Door dit dienstennetwerk worden de verschillende goederen verzonden. Consolidatie maakt het enerzijds mogelijk om de voertuigcapaciteit volledig te benutten en daardoor de globale voertuigkosten en vaste kosten te verminderen. Anderzijds dient aanvaard te worden dat omleidingen en overslag noodzakelijk zijn in een bundelingsnetwerk, wat een toename van de variabele kosten met zich meebrengt.

Crainic (2000) en Wieberneit (2008) stellen een classificatie voor van tactische beslissingen die typisch genomen worden in een SNDP. Zij maken een onderscheid tussen de volgende klassen:

- *Selectie van diensten*: de vaststelling van de diensten en dienstenroutes die aangeboden worden en de kenmerken van elke dienst. Hierbij wordt rekening met frequenties en capaciteitsbeperkingen.
- *Verkeersspreiding*: elke bestelling wordt verplaatst van zijn herkomst naar zijn bestemming. Hierbij dienen beslissingen gemaakt te worden over de dienstenroutes, de terminals of hubs langs dewelke de bestellingen vervoerd worden en de activiteiten binnen deze terminals.
- *Herpositionering van lege voertuigen*: lege voertuigen vereisen in veel gevallen herpositionering. Een onevenwichtig in lege voertuigen vindt zijn oorsprong in onevenwichtigheden in de vraag en het aanbod van voertuigen in terminals.
- *Terminal beleid*: de toewijzing van taken onder de terminals, bijvoorbeeld welke consolidatie-activiteiten uitgevoerd worden en hoe deze uitgevoerd dienen te worden.

6.3.2 *Frequency versus dynamic service network design modellen*

Crainic (2000) en Wieberneit (2008) stellen een classificatie van service netwerk design problemen voor. Meer bepaald maken zij een onderscheid tussen een 'frequency' (FSNDP) en 'dynamic' (DSNDP) service netwerk design probleem. In de eerste klasse worden dienstenfrequenties bepaald terwijl in de tweede klasse dienstregelingen vastgesteld worden die uiteindelijk de dienstenfrequenties bepalen. De eerste klasse behoort tot een strategische/tactische planningsniveau terwijl de tweede klasse meer tactisch/operationeel is. De reden hiervoor is het hogere niveau van detaillering dat aanwezig is in de dienstenschema's, in tegenstelling tot het bepalen van frequenties. In het werk van Crainic (2000) ligt de nadruk

op frequency service netwerk design modellen. In het werk van Wieberneit (2008) en Dall'Orto et al. (2006) daarentegen wordt meer aandacht besteed aan dynamische service netwerk design modellen.

Zoals hierboven vermeld, dienen in FSND modellen dienstenfrequenties vastgesteld te worden. Typische vragen die door FSND modellen behandeld worden, zijn: Welk type dienst wordt aangeboden? Hoe vaak wordt deze dienst aangeboden binnen de planningshorizon? Welke dienstenroutes worden bediend? Wat is de geschikte werkbelasting en beleid van een terminal? FSND modellen kunnen verder onderverdeeld worden in twee categorieën. In de eerste categorie zijn dienstenfrequenties de beslissingsvariabelen. Expliciete geheeltallige beslissingsvariabelen worden gebruikt om te bepalen hoe vaak elke geselecteerde dienst bediend wordt tijdens de planningsperiode. In de tweede categorie vormen de dienstenfrequenties de verkregen output. De beslissingen die in deze klasse genomen worden, hebben te maken met het al dan niet bedienen van een dienst. De beslissingsvariabelen kunnen enkel een binaire of (0,1)-waarde aannemen. Frequenties worden afgeleid uit vervoersstromen die onderworpen zijn aan ondergrens - beperkingen die een minimum serviceniveau voorstellen. Een FSND model geeft het transportplan of het ladingsplan als output. Dit plan wordt gebruikt om het dagelijkse beleid vast te leggen dat de basis vormt voor activiteiten binnen het transportsysteem. Voor meer informatie aangaande frequency service netwerk design modellen wordt verwezen naar het artikel van Crainic (2000)

In DSND modellen ligt de nadruk op de bepaling van het dienstenschema. Belangrijk voor dit soort model is de integratie van de tijdscomponent in het model door gebruik te maken van een tijd-ruimte netwerk om de mogelijke diensten te beschrijven. Om dit tot stand te brengen, wordt de planningshorizon in periodes opgedeeld en wordt het fysische netwerk verdubbeld voor elke periode. Knooppunten stellen in DSND modellen locaties in tijd en ruimte voor, terwijl verbindingen de fysische verplaatsingen tussen locaties of gewoon verplaatsingen in de tijd in één locatie voorstellen. De bedoeling is bijgevolg dat een DSND model rekening houdt met de invloed van eerder gemaakte beslissingen. De dienstenregelingen zijn in functie van de tijd. In dit opzicht wordt hier ook wel gesproken van tijdsafhankelijk service netwerk design. Hierin verschillen DSND modellen van FSND modellen, dewelke op een statische manier tewerk gaan. Dynamische modellen zijn evenwel moeilijker op te lossen dan statische problemen door de toegenomen grootte van het netwerk. Tevens vereist de tijdsdimensie meestal zeer veel beperkingen, wat de oplossing verder bemoeilijkt. Voor meer informatie aangaande dynamic service netwerk design modellen wordt verwezen naar de artikels van Wieberneit (2008) en Dall'Orto et al. (2006).

6.4 Algemene formulering van een netwerk design model

Netwerk design formuleringen kunnen weergegeven worden door grafen met knooppunten en bogen. Sommige van deze knooppunten stellen de oorsprong van een transportvraag voor terwijl andere de bestemming weergeven. De bogen of verbindingen kunnen verschillen in lengte en/of capaciteit. Bovendien zijn sommige of alle verbindingen verbonden met vaste en/of variabele kosten. Vaste kosten worden aangerekend zodra de verbinding in gebruik gesteld wordt. Verbindingen leiden meestal eveneens tot variabele verbruikskosten die proportioneel toenemen met het vervoerde volume. Het doel is om die verbindingen in een netwerk te selecteren die tot de laagst mogelijke totale systeemkosten leiden, rekening houdend met capaciteitsbeperkingen. De systeemkosten worden gedefinieerd als de som van de vaste openingskosten en de variabele gebruikskosten. Bovendien dient aan een bepaalde vraag voldaan te worden. (Crainic, 2000)

In de volgende paragrafen worden twee algemene formuleringen van een netwerk design model weergegeven die gebruikt worden in de context van planning van goederenvervoer. We hebben niet de intentie een volledig overzicht te geven van netwerk design formuleringen en oplossingsmethoden. De bedoeling is eerder om twee basisformuleringen te beschrijven van waaruit meer specifieke modellen afgeleid kunnen worden. Aan de hand van deze twee formuleringen is het mogelijk om een groot aantal praktische situaties te modelleren. (Crainic, 2000)

6.4.1 *Linear cost, multicommodity capacitated network design (MCND) formulering*

De eerste formulering die weergegeven wordt, is de '**linear cost, multicommodity capacitated network design**' formulering. Concreet betekent dit dat voor elke opgenomen verbinding vaste, lineaire kosten aangerekend worden en ook de verbruikskosten zijn lineair. 'Multicommodity' duidt op het feit dat meerdere producten door het netwerk verstuurd worden en 'capacitated' betekent dat de capaciteit van de verbindingen beperkt is.

Beschouw de graaf $G = (N, A)$ die het fysische netwerk weergeeft. In deze graaf stelt N de verzameling knooppunten voor en geeft A de verzameling verbindingen weer. P stelt de verzameling producten voor die doorheen het netwerk getransporteerd wordt.

De algemene formulering van een MCND-model kan er als volgt uitzien:

$$\text{Minimaliseer } \sum_{(ij) \in A} f_{ij} y_{ij} + \sum_{(ij) \in A} \sum_{p \in P} c_{ij}^p x_{ij}^p \quad (1)$$

Onder voorwaarde van:

$$\sum_{j \in N} x_{ij}^p - \sum_{j \in N} x_{ji}^p = d_i^p, \quad i \in N, \quad p \in P \quad (2)$$

$$\sum_{p \in P} x_{ij}^p \leq u_{ij} y_{ij}, \quad (i, j) \in A \quad (3)$$

$$(y, x) \in S, \quad (i, j) \in A, \quad p \in P \quad (4)$$

$$y \in Y, \quad (i, j) \in A \quad (5)$$

$$x_{ij}^p \geq 0, \quad (i, j) \in A, \quad p \in P \quad (6)$$

Twee types beslissingsvariabelen zijn aanwezig in deze algemene formulering. De geheeltallige variabelen y_{ij} modelleren de ontwerpbeslissing wat de opening van een verbinding betreft.

Indien $Y = \{0, 1\}^{|A|}$ en $y_{ij} = 1$, dan betekent dit dat de verbinding (i, j) opengesteld is en dus in het netwerk opgenomen is. Indien de verbinding (i, j) gesloten is, neemt y_{ij} de waarde 0 aan.

Wanneer $Y = N_+^{|A|}$ dan worden de variabelen y_{ij} niet beperkt tot binaire of $\{0, 1\}$ waarden.

In dit geval kan y_{ij} het aantal voorzieningen of het aantal eenheden capaciteit voorstellen die geïnstalleerd zijn op een verbinding of het geboden dienstenniveau kan weergegeven worden.

De beslissingsvariabelen x_{ij}^p zijn continue variabelen die de hoeveelheid van product p die door de verbinding (i, j) gestuurd wordt, weergeven.

De betekenis van de overige parameters uit de algemene formulering kan in tabel 5 teruggevonden worden. Voor een algemeen overzicht van de parameters die in de formuleringen voorkomen, wordt verwezen naar bijlage 6. (Crainic, 2000, Wieberneit, 2008)

Parameter	Betekenis
f_{ij}	Indien $Y = \{0,1\}^{ A }$: de vaste kost voor het openen van verbinding (i, j) . Indien $Y = N_+^{ A }$: een kost van f_{ij} wordt veroorzaakt voor elke voorziening of elke eenheid capaciteit die geïnstalleerd wordt of voor elke dienst die geboden wordt.
c_{ij}^p	De transportkost per eenheid van product p die door verbinding (i, j) gestuurd wordt.
u_{ij}	De capaciteit van verbinding (i, j) .
d_i^p	De vraag naar product p in knooppunt i .

Tabel 5: Verklaring van de parameters die in de algemene formulering voorkomen (Bron: Crainic, 2000)

De doelfunctie (1) geeft de totale kosten van het systeem weer. Deze doelfunctie geeft aan dat binnen netwerk design 'tradeoffs' of afwegingen gemaakt worden. Hiermee wordt bedoeld dat de vaste kosten van het bieden van de transportinfrastructuur of -diensten afgewogen worden tegenover de variabele verbruikskosten voor het bedienen van het systeem om goederen te laten doorstromen. (Crainic, 2000) verbruikskosten

Beperking (2) zorgt ervoor dat voldaan wordt aan de vraag en dat de gebruikelijke vereisten op het vlak van de goederenstroom in stand gehouden worden. Het is mogelijk verschillende vraagpatronen te definiëren die elk resulteren in een ander model. In sommige gevallen kan het gebeuren dat een product verzonden wordt vanuit meerdere bronnen om te voldoen aan de vraag van meerdere bestemmingen. In de meeste transporttoepassingen echter, wordt de vraag gedefinieerd tussen paren van oorsprong- en bestemmingspunten. In dit geval, en ongeacht het aantal werkelijke producten, kan een product verbonden worden met elk oorsprong-bestemming paar. Laat w^p de totale vraag van product p voorstellen. Dan geldt,

$$d_i^p = \begin{cases} w^p & \text{indien knooppunt } i \text{ de oorsprong is van product } p , \\ -w^p & \text{indien } i \text{ de bestemming is van handelsgoed } p , \\ 0 & \text{anders} \end{cases}$$

Beperking (3) zorgt ervoor dat de totale goederenstroom door verbinding (i, j) de maximumcapaciteit u_{ij} niet kan overschrijden indien verbinding (i, j) in het netwerk opgenomen is. Indien de verbinding (i, j) niet opgenomen is in het ontwerp van het netwerk,

zorgt deze beperking ervoor dat geen producten door deze verbinding gestuurd kunnen worden. (Crainic, 2000)

In bovenstaand algemeen netwerk design probleem kunnen enkele bijkomende beperkingen opgenomen worden.

$$\sum_{(i,j) \in A} f_{ij} y_{ij} \leq B \quad (8)$$

$$x_{ij}^p \leq u_{ij}^p, (i, j) \in A, p \in P \quad (9)$$

De bijkomende beperking (8) geeft weer dat een netwerk operator meestal over een beperkt budget beschikt. Beperking (8) worden daarom vaak de budgetbeperking genoemd. Concreet houdt dit in dat het niet mogelijk is alle verbindingen in het netwerk op te nemen, maar dat met dit budget een aantal verbindingen geopend kunnen worden. Een tweede bijkomende beperking (9) geeft gedeeltelijke capaciteitsbeperkingen weer. Deze gedeeltelijke capaciteitsbeperkingen kunnen gelden voor het gebruik van sommige faciliteiten door bepaalde producten. Door middel van deze vergelijking is het bijvoorbeeld mogelijk om een beperking te leggen op de maximumhoeveelheid gevaarlijke goederen die vervoerd worden per trein of schip. (Crainic, 2000)

6.4.2 Path-based multi-commodity capacitated network design (PMCND) formulering

Naast deze eerste formulering is het mogelijk om een tweede veelvoorkomende formulering te onderscheiden, meer bepaald de '**path-based multi-commodity capacitated network design (PMCND)**' formulering. (Crainic, 2000)

De PMCND-formulering lijkt op de voorgaande MCND-formulering en is op dezelfde mechanismen gefundeerd. Het verschil tussen beide formuleringen ligt in het feit dat in de PMCND-formulering een aantal logische paden gedefinieerd worden. In de MCND-formulering daarentegen zijn alle paden mogelijk.

De algemene formulering van een PMCND-model ziet er als volgt uit:

$$\text{Minimaliseer } \sum_{(ij) \in A} f_{ij} y_{ij} + \sum_{p \in P} \sum_{l \in L} k_l^p h_l^p \quad (10)$$

Onder voorwaarde van:

$$\sum_{l \in L^p} h_l^p = w^p, \quad p \in P \quad (11)$$

$$\sum_{p \in P} \sum_{l \in L^p} h_l^p \delta_{ij}^{lp} \leq u_{ij} y_{ij} \quad (i, j) \in A \quad (12)$$

$$y_{ij} \in Y, \quad (i, j) \in A \quad (13)$$

$$h_l^p \geq 0, \quad p \in P, \quad l \in L^p \quad (14)$$

De parameters uit de MCND-formulering hebben dezelfde betekenis in deze PMCND-formulering. Daarenboven kunnen een aantal bijkomende parameters onderscheiden worden. Zo stelt L^p de verzameling van 'paden' of trajecten voor die toegestaan zijn voor product p . De beslissingsvariabelen h_l^p geven de stroom van product p over pad l weer. De transportkost van product p voor traject l wordt weergegeven door k_l^p , waarbij $k_l^p = \sum_{(ij) \in A} c_{ij}^p \delta_{ij}^{lp}$ en $x_{ij}^p = \sum_{l \in L^p} h_l^p \delta_{ij}^{lp}$. De parameter δ_{ij}^{lp} maakt in deze formulering de verbinding tussen de verschillende paden, verbindingen en producten. Indien de verbinding (i, j) tot traject $l \in L^p$ behoort voor product p dan is $\delta_{ij}^{lp} = 1$. Wanneer dit niet het geval is, neemt δ_{ij}^{lp} de waarde 0 aan.

Crainic (2000) stelt dat het mogelijk is om een groot aantal problemen weer te geven aan de hand van deze algemene formuleringen. Meer bepaald dienen het netwerk G en de beperkingen in S gepast gedefinieerd te worden voor het specifieke probleem. Bijgevolg bieden netwerk design modellen een grote veelzijdigheid en laten ze toepassingen binnen een breed domein toe.

6.5 Oplossingsmethoden voor netwerk design modellen

De vorige twee formuleringen zijn voorbeelden van 'mixed-integer' formuleringen en kunnen benaderd worden door een aantal beschikbare methodologieën. Een veel gebruikte methodologie is om één of meerdere beperkingen te versoepelen om op deze wijze een minder

complex probleem te verkrijgen. In vele gevallen is een exacte oplossing van het probleem bijna onmogelijk te bekomen. De verklaring hiervoor is dat vaak bijkomende complexiteit veroorzaakt wordt door de grote nauwkeurigheid die vereist is voor een bepaalde toepassing. Tevens gaat het vaak om een zeer groot probleem. Indien zulk complex probleem met een exact algoritme opgelost zou worden, zou dit veel tijd kosten. De benodigde rekestijd neemt vaak zelfs exponentieel toe met het aantal variabelen en beperkingen. Vanuit theoretisch oogpunt wordt vaak gezegd dat netwerk design formuleringen 'NP-hard' zijn. Daarom worden heuristieken gebruikt om oplossingen te verkrijgen die van goede kwaliteit zijn. Binnen de heuristieken worden metaheuristieken, zoals tabu search, simulated annealing en genetische algoritmen, vaak toegepast. Deze rekenmethodes richten zich tijdens de oplossingsprocedure vooral op veelbelovende gebieden in de oplossingsruimte. Het gevaar bestaat echter dat de gevonden oplossing niet de optimale oplossing is. Bijgevolg kan gesteld worden dat netwerk design formuleringen in het algemeen zeer moeilijk op te lossen zijn. Voor een meer uitgebreid overzicht van de verschillende oplossingsmethoden die op het gebied van netwerk design modellen ontwikkeld zijn, wordt verwezen naar de artikels van Crainic (2000) en Wieberneit (2008).

In het volgende hoofdstuk wordt overgegaan naar het praktijkgedeelte van deze eindverhandeling. In dit praktijkgedeelte dient de PMCND-formulering van Crainic (2000) als basis voor het kostenmodel dat ontwikkeld wordt. Dit kostenmodel moet het mogelijk maken voor een bepaalde situatie na te gaan of samenwerking al dan niet interessant is.

Hoofdstuk 7: Het modelleren van samenwerking in de binnenvaart

Dit hoofdstuk vormt het praktische gedeelte van deze eindverhandeling. De methodologie voorgesteld in hoofdstuk zes dient als basis voor deze praktijkstudie. Meer bepaald wordt uitgegaan van de 'path-based multi-commodity capacitated network design (PMCND)' formulering van Crainic (2000).

Deze praktijkstudie omvat drie onderdelen. Allereerst wordt op basis van de PMCND-formulering een model geconceptualiseerd dat het mogelijk dient te maken voor een bepaalde situatie na te gaan of samenwerking interessant is. Voor de opstelling van dit model wordt uitgegaan van een intermodaal binnenvaartnetwerk waarin twee inland terminals het goederenvervoer naar het havengebied ofwel onafhankelijk van elkaar of gezamenlijk kunnen organiseren. In het tweede onderdeel van deze praktijkstudie wordt aan de hand van een kostencalculatie de correctheid van het ontwikkelde model geverifieerd. Tevens wordt de optimale oplossing bepaald voor onze hypothetische situatie. Ten slotte wordt in het derde onderdeel een sensitiviteitsanalyse uitgevoerd.

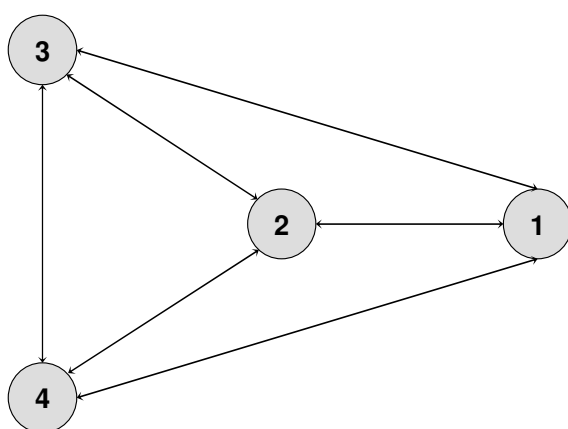
De opzet van deze praktijkstudie is een model te conceptualiseren dat mogelijk in het bedrijfsleven gebruikt zou kunnen worden om kostenbesparingen te realiseren. De nadruk wordt zodoende gelegd op de opstelling van het model zelf.

7.1 Probleembeschrijving

7.1.1 Weergave situatie praktijkstudie

In deze praktijksituatie wordt een model opgesteld dat nagaat of het voor een bepaalde situatie interessant is om samen te werken of eerder het vervoer zelfstandig te organiseren. Meer concreet wordt dit model opgesteld voor een samenwerkingsverband tussen twee binnenvaartterminals, in het bijzonder terminal 1 en 2 in figuur 17, die aan dezelfde waterweg gelegen zijn. Verder wordt met samenwerking bedoeld dat de goederenstromen van beide terminals samengevoegd of gebundeld worden en dat het transport van en naar het havengebied gezamenlijk georganiseerd wordt. Het terminalnetwerk en de onderlinge verbindingen worden weergegeven in figuur 17.

In figuur 17 stellen de knooppunten 1 en 2 twee binnenvaartterminals voor die aan dezelfde waterweg gelegen zijn. De knooppunten 3 en 4 geven twee maritieme terminals weer die in het havengebied gelegen zijn. Zo kan terminal 3 bijvoorbeeld van terminal 4 gescheiden zijn door een sluisencomplex. In de huidige situatie organiseren binnenvaartterminals in België hun goederenvervoer overwegend onafhankelijk van elkaar. Elke inland terminal legt zelfstandig een shuttledienst in naar de haventerminals. Toegepast op het terminalnetwerk van deze praktijktoepassing wordt onder een zelfstandige organisatie van het goederenvervoer verstaan dat de rechtstreekse routes naar de haventerminals gebruikt worden. Indien binnenvaartterminals zouden samenwerken, zouden ze onderweg containers bij elkaar kunnen ophalen. Zo zou terminal 1 bijvoorbeeld eerst de goederen naar terminal 2 kunnen vervoeren, waarna ze na bundeling, naar de haventerminal worden getransporteerd.



Figuur 17: Weergave terminalnetwerk praktijktoepassing

7.1.2 De opportuniteiten en moeilijkheden van een samenwerkingsverband

Zoals in hoofdstuk drie besproken werd, bestaan er verschillende interne en externe motieven die een samenwerkingsverband drijven. In het kader van deze concrete praktijksituatie wordt verondersteld dat de volgende interne en externe motieven een rol kunnen spelen:

- Interne motieven: een verhoging van de productiviteit, het uitsparen van kosten, een toename van de capaciteit, een verhoging van de vertrekfrequentie, een verbetering van de dienstverlening;
- Externe motieven: druk uitgeoefend door veeleisende klanten, een toename van de containertrafiek door globalisering, de nood om zich te beschermen tegen toenemende concurrentie, de nood aan flexibiliteit door schommelingen in de vraag.

Naast deze positieve prikkels, worden in hoofdstuk drie tevens de voornaamste hinderpalen beschreven van samenwerkingsverbanden. De moeilijkheden die in deze praktijkstudie worden beschouwd zijn de volgende: de planning die complexer wordt, de voordelen van het samenwerkingsverband zijn moeilijk op voorhand in te schatten, de angst voor dominantie door een sterkere partner en het risico op opportunisme. Met dit laatste wordt bedoeld dat indien de terminals geografisch dicht bij elkaar liggen, de ene terminal rechtstreeks zou kunnen prospecteren op de klanten van de andere terminal, met een eventueel klantenverlies voor de eerste terminal tot gevolg. Dit plausibel voorbeeld illustreert des te meer dat om een samenwerking te doen slagen er niet alleen duidelijke afspraken nodig zijn, maar ook dat de nodige dosis vertrouwen steeds aanwezig moet zijn. Wanneer dit niet het geval is, zal het samenwerkingsverband meer dan waarschijnlijk falen.

Ten slotte dient vermeld te worden dat een duurzame samenwerking vereist dat zowel de kosten als de baten van een samenwerkingsverband evenredig verdeeld worden over de betrokken partijen. Opdat de samenwerking kans op slagen heeft, moet er sprake zijn van een win-win situatie voor beide partijen.

7.1.3 Plaatsing praktijktoepassing binnen typologie Verstrepen et al. (2005)

In hoofdstuk drie werd de typologie van Verstrepen et al. (2005) besproken. Deze typologie definieert horizontale samenwerkingsverbanden aan de hand van vier dimensies. Het samenwerkingsverband uit de praktijktoepassing kan eveneens beschreven worden met behulp van deze typologie.

De eerste dimensie duidt de intensiteit of het bereik van een samenwerkingsverband aan. In de praktijktoepassing wordt samengewerkt op het gebied van het dagelijks vervoer, hetgeen op een operationeel samenwerkingsverband duidt. Daarenboven kan geoordeeld worden dat het samenvoegen van goederenstromen in een terminalnetwerk een complexere planning van de vervoersdiensten met zich meebrengt. Tevens vereisen het gemeenschappelijk gebruik van een binnenschip en de gezamenlijke organisatie van het transport naar het havengebied een meer intensieve samenwerking. Samenvattend kan dus gesteld worden dat de samenwerking in de praktijktoepassing zich op operationeel/tactisch niveau bevindt.

Overeenkomstig de tweede dimensie kan vastgesteld worden dat het een concurrerende horizontale samenwerking betreft aangezien de terminals dezelfde industrieën bedienen en elkaars directe concurrenten zijn.

De derde dimensie geeft aan dat een samenwerkingsverband gebaseerd is op het delen van tastbare en ontastbare middelen. Verondersteld wordt dat een samenwerking tussen binnenvaartterminals gepaard gaat met het gezamenlijk gebruik van een binnenschip. Bovendien zal een ondersteunend proces noodzakelijk zijn om de samenwerking in goede banen te leiden. Tevens zal expertise en bedrijfsinformatie uitgewisseld worden tussen de twee terminaloperators.

In dimensie vier ten slotte, worden de voornaamste doelstellingen van een samenwerkingsverband nagegaan. In deze praktijktoepassing kan kostenreductie als de belangrijkste doelstelling aangewezen worden. Daarenboven kan een productiviteitswinst behaald worden door goederenstromen te bundelen en gezamenlijk naar het havengebied te transporteren. Door het samenvoegen van de netwerken van beide terminals is het bovendien mogelijk om een geografische groei te bereiken. Een samenwerkingsverband vereist tevens de uitwisseling van bedrijfsinformatie tussen beide partners. Ten slotte kan maatschappelijke relevantie een beweegreden zijn in deze praktijktoepassing. De mogelijkheid om gunstigere tarieven en hogere vertrekfrequenties aan te bieden, kan namelijk het gebruik van de binnenvaart als vervoersmodi stimuleren.

In bijlage 5 werden 25 concrete samenwerkingsvormen voorgesteld. De volgende samenwerkingsvormen zijn voornamelijk van toepassing binnen deze praktijktoepassing:

- Asset pooling: het gezamenlijk inzetten van een binnenschip;
- Groepage van goederen of vrachtconsolidatiegroep: het bundelen en stroomlijnen van goederenstromen van twee terminals om collectieve transportkosten te verlagen en een verbeterde dienstverlening te bieden.

7.1.4 Plaatsing praktijktoepassing binnen complexe bundelingsnetwerken

In hoofdstuk vijf werden verschillende bundelingsconcepten besproken. Het terminalnetwerk van deze praktijktoepassing behoort tot de verzameling van complexe bundelingsnetwerken, meer bepaald tot de corridor- of lijnnetwerken. Indien de twee inland terminals uit te praktijktoepassing samenwerken, ontstaat een transportstroom met een hoge dichtheid tussen de betreffende inland terminals en het havengebied. Voordelen van zulk lijnnetwerk zijn volgens Konings et al. (2006) de mogelijkheid om de bezettingsgraad van het vaartuig te verhogen en/of een hogere vertrekfrequentie aan te bieden. Daarenboven kunnen kleinere goederenstromen gemakkelijk opgenomen worden in een bundelingsnetwerk.

Zoals in hoofdstuk vijf vermeld werd, kunnen samenwerkende partijen hun kostenefficiëntie verbeteren en de kwaliteit van hun diensten verhogen door hun goederenstromen te bundelen. Konings (2003) en Kreutzberger (2006) geven in deze context aan dat de grootte van het binnenschip en de transportfrequentie een directe invloed hebben op de kosten- en kwaliteitsprestatie.

Een operationele samenwerking biedt de mogelijkheid aan de partners om hun goederenstromen samen te voegen. Hierdoor zijn ze in staat het vereiste transportvolume te verzamelen en gezamenlijk een groter binnenschip in te zetten. De toename in scheepsgrootte zorgt voor schaalvoordelen aangezien de vaste kosten over meer ladingseenheden verdeeld kunnen worden. Tevens geeft een samenwerkingsverband de mogelijkheid om de gebruikskosten van het binnenschip over de verschillende partners te verdelen, dit in tegenstelling tot de huidige situatie waarin alle kosten zelfstandig gedragen worden. Het nadeel van deze grotere binnenschepen is evenwel dat ze meer tijd in terminals zullen doorbrengen. Een groter aantal containers dienen overgeslagen te worden, hetgeen tot hogere overslagkosten leidt. Ook de circulatietijd, of de tijd die nodig is om een rondvaart uit te voeren, wordt hierdoor negatief beïnvloed. Een operationele samenwerking maakt het eveneens mogelijk om het aantal afvaarten of de transportfrequentie aanzienlijk te verhogen. Dit heeft een positieve invloed op de ervaren kwaliteit van de aangeboden vervoersdiensten en zorgt voor een betere dienstverlening naar de consumenten toe.

De toename van het beschikbare volume bij samenwerking kan bijgevolg enerzijds aangewend worden om een groter binnenschip in te leggen tussen de inland terminals en de zeehaven. Anderzijds kan het toegenomen volume gebruikt worden om de frequentie van transportdiensten te verhogen. Dit betekent dat er sprake is van een theoretische 'trade-off' of afweging tussen scheepsgrootte en transportfrequentie en bijgevolg eveneens tussen kosten en kwaliteit van binnenvaartdiensten. In Konings (2003) wordt voorgesteld om de toename van het transportvolume eerst aan te wenden om het aantal afvaarten te doen toenemen en hierna pas de grootte van het schip aan te passen.

7.2 Formulering van de praktijktoepassing

Aan de hand van de methodologie die beschreven werd in hoofdstuk zes wordt in de volgende paragrafen het praktijkmodel opgebouwd.

7.2.1 Aanpassing van de PMCND-formulering

Er is geopteerd om het praktijkprobleem te modelleren aan de hand van de 'path-based multi-commodity capacitated network design (PMCND)' formulering uit paragraaf 6.4.2 van het vorige hoofdstuk.

Herhaling van de PMCND-formulering:

$$\text{Minimaliseer } \sum_{(ij) \in A} f_{ij} y_{ij} + \sum_{p \in P} \sum_{l \in L} k_l^p h_l^p \quad (10)$$

Onder voorwaarde van:

$$\sum_{l \in L^p} h_l^p = w^p, \quad p \in P \quad (11)$$

$$\sum_{p \in P} \sum_{l \in L^p} h_l^p \delta_{ij}^{lp} \leq u_{ij} y_{ij} \quad (i, j) \in A \quad (12)$$

$$y_{ij} \in Y, \quad (i, j) \in A \quad (13)$$

$$h_l^p \geq 0, \quad p \in P, \quad l \in L^p \quad (14)$$

De PMCND-formulering werd verkozen omdat deze formulering de mogelijkheid biedt een aantal logische paden te formuleren en op deze manier de oplossingsruimte te beperken. In de PMCND-formulering wordt geen rekening gehouden met het feit dat beslissingen die vandaag genomen worden hun weerslag vinden in de toekomst. Het gaat met andere woorden om een statisch model dat enkel de huidige situatie in beschouwing neemt en niet om een dynamisch model. Het tijdsframe dat in onze praktijksituatie beschouwd wordt, is één dag.

Indien het model geplaatst wordt binnen de verschillende planningsniveaus blijkt duidelijk dat het gaat om een functioneel ontwerp van een netwerk van transportdiensten. Deze transportprestaties worden gepland rekening houdend met een gegeven vraag of netwerkvolume waaraan voldaan dient te worden. De planning hiervan vindt plaats op het tactische planningsniveau.

Het model dat opgebouwd wordt, is een optimalisatiemodel en bijgevolg dienen de vervoerde hoeveelheden optimaal toegewezen te worden aan de gedefinieerde paden. Dankzij het optimalisatiemodel zou het mogelijk moeten zijn om de meest gunstige manier te vinden om de goederen van en naar het havengebied te transporteren. Het is belangrijk dat het kostenmodel een onderscheid maakt tussen een situatie waarin samengewerkt wordt en een situatie waarin het vervoer zelfstandig georganiseerd wordt. Dit onderscheid wordt weergegeven door de aanwezige verbindingen. Indien het vervoer zelfstandig georganiseerd wordt, worden de

rechtstreekse verbindingen opgenomen in het netwerk. Bij samenwerking zullen de verbindingen (1,2) en (2,1) aangewend worden.

7.2.2 Definiëring van variabelen en parameters

Zoals de PMCND-formulering aangeeft, dienen een aantal variabelen en parameters gedefinieerd te worden. De binaire beslissingsvariabele y_{ij} geeft weer of de verbinding (i, j) opgenomen wordt in het netwerk. Indien verbinding (i, j) geopend wordt, neemt de variabele y_{ij} de waarde 1 aan. Hierdoor wordt een vaste kost f_{ij} voor deze verbinding opgelopen. De beslissingsvariabele h_l^p stelt in deze situatie het aantal containers van product p voor die vervoerd worden over traject l . De beslissingsvariabele h_l^p is een geheeltallige variabele omdat het uiteraard niet mogelijk is om een halve container te vervoeren. Een variabele kost k_l^p wordt aangerekend per container van product p die over traject l wordt vervoerd.

Vervolgens is het noodzakelijk de verzameling producten, P , te bepalen. Een product p heeft in deze praktijktoepassing de betekenis van een oorsprong-bestemming paar. Als kanttkening geldt dat de verbindingen in twee richtingen gebruikt kunnen worden. Een binnenschip kan namelijk naar een haventerminal varen om daar goederen af te leveren. Maar de omgekeerde verbinding is eveneens mogelijk aangezien het binnenschip bij zijn terugvaart import of lege containers kan meenemen. In tabel 6 worden alle mogelijke producten weergegeven.

Product	Oorsprong	Bestemming
1	1	3
2	1	4
3	2	3
4	2	4
5	3	1
6	4	1
7	3	2
8	4	2

Tabel 6: Bepaling producten

Hierna dient de verzameling van paden of trajecten, L^p , afgebakend te worden voor elk product. Een pad of traject l is de manier waarop een product vanuit de oorsprong zijn bestemming bereikt. In tabel 7 worden deze trajecten weergegeven voor elk product.

Product	Mogelijke paden	Padnummer	Product	Mogelijke paden	Padnummer
1 (1-3)	1-3	1	5 (3-1)	3-1	1
	1-2-3	2		3-2-1	2
	1-4-3	3		3-4-1	3
	1-2-4-3	4		3-4-2-1	4
2 (1-4)	1-4	1	6 (4-1)	4-1	1
	1-2-4	2		4-2-1	2
	1-3-4	3		4-3-1	3
	1-2-3-4	4		4-3-2-1	4
3 (2-3)	2-3	1	7 (3-2)	3-2	1
	2-4-3	2		3-4-2	2
	2-1-3	3		3-1-2	3
	2-1-4-3	4		3-4-1-2	4
4 (2-4)	2-4	1	8 (4-2)	4-2	1
	2-3-4	2		4-3-2	2
	2-1-4	3		4-1-2	3
	2-1-3-4	4		4-3-1-2	4

Tabel 7: Definiëring van de verzameling paden voor elk product

De parameter u_{ij} geeft de capaciteit van verbinding (i, j) weer. We veronderstellen dat het Belgische waterwegennet voor de binnenvaart globaal genomen over voldoende restcapaciteit beschikt, ondanks het feit dat op sommige plaatsen sluizen en bruggen aanwezig zijn. We nemen bijgevolg aan dat deze parameter minder belangrijk is in deze praktijktoepassing. Het volstaat aan deze parameter een capaciteit toe te kennen zodat altijd aan de vraag voldaan wordt. In tabel 8 wordt deze dagelijkse totale vraag voor elk product voorspeld. Wanneer de capaciteit van elke verbinding gelijkgesteld wordt aan de totale vraag, namelijk 603 TEU, kan ervan uitgegaan worden dat altijd voldaan is aan deze beperking.

De parameter w^p stelt de totale vraag naar product p voor. Voor deze vraag worden fictieve cijfers gebruikt om de voorgestelde methodologie te testen op kleine schaal. Tabel 8 geeft deze totale vraag weer voor elk product. Deze vraag vormt het netwerkvolume dat het uitgangspunt is van het ontwikkelde model.

Product	Totale vraag
1 (1-3)	82
2 (1-4)	41
3 (2-3)	185
4 (2-4)	53
5 (3-1)	60
6 (4-1)	25
7 (3-2)	90
8 (4-2)	67

Tabel 8: Totale vraag voor ieder product (per dag en in aantal TEU)

Ten slotte worden de verschillende kosten gedefinieerd. Uit de doelfunctie blijkt dat twee soorten kosten aanwezig zijn in het model. Enerzijds worden vaste kosten aangerekend wanneer een bepaalde verbinding in het netwerk opgenomen wordt. Anderzijds geldt een transportkost voor elke eenheid van product p die over pad l verstuurd wordt.

In het model geeft parameter f_{ij} de vaste kost weer voor het openen van de verbinding (i, j) . Deze kost dient uiteraard enkel gedragen te worden indien de verbinding daadwerkelijk in het netwerk opgenomen wordt. Dus wanneer $y_{ij} = 1$. De vaste kosten worden geschat aan de hand van de kosten die opgelopen worden wanneer een binnenschip op deze verbinding ingezet wordt.

Om een zo juist mogelijk beeld te krijgen van de kosten hebben we contact opgenomen met een Vlaamse binnenvaartterminal. Uit de ter beschikking gestelde gegevens is het mogelijk volgende kostenfunctie af te leiden voor het charteren van een schip. De geldende richtprijzen zijn in euro per dag en hoeveelheden zijn in aantal TEU.

$$f(x) = \begin{cases} 1.000 & \text{voor } x < 60 \\ 1.500 & \text{voor } 60 \leq x \leq 90 \\ 1.800 & \text{voor } 90 < x \leq 100 \\ 2.100 & \text{voor } 100 < x \leq 200 \\ 3.000 & \text{voor } x > 200 \end{cases}$$

Het resultaat is een trapsgewijze functie. Dit betekent dat bij een bepaalde kritische hoeveelheid TEU containers naar een groter binnenschip met een overeenkomstige hogere kost overgegaan

wordt. Deze kosten zijn slechts richtprijzen voor het charteren van enkel en alleen het binnenschip. Daarenboven dienen tevens andere relevante kosten, zoals personeelskosten, brandstofkosten, vaar- en havengelden, verzekering, gebruik van sluisen en dergelijke, in rekening gebracht worden. Voor de praktijktoepassing wordt de veronderstelling gemaakt dat deze andere extra kosten ongeveer even hoog zijn als de kost van het charteren van een schip zelf. Daar we ervan uitgaan dat een binnenschip in staat is binnen de planningshorizon van 24 uur een rondvaart uit te voeren, is het voldoende bovenstaande trapsgewijze functie te laten gelden voor elke verbinding of voor een enkele vaart.

Wat de verdeling naar vaste en variabele kosten betreft, is geopteerd om de vaste kosten voor te stellen als de kosten voor het inzetten van het kleinste binnenschip op een verbinding. Het variabele kostengedeelte stelt de overgang naar een groter binnenschip voor. Op deze manier weerspiegelt het model de realiteit zo goed mogelijk en worden de samenwerkingsvoordelen, namelijk de overgang naar een groter binnenschip en het behalen van schaalvoordelen, weergegeven.

Als basis voor de vaste kosten per verbinding gelden de totale kosten van het kleinste binnenschip, wat overeenkomt met 1000 euro voor een enkele verbinding. De vaste kosten zijn echter eveneens in functie van de relatieve afstand van de verbinding en de relatieve tijd die nodig is om deze afstand te overbruggen. Zo kan bijvoorbeeld de aanwezigheid van een aantal sluisen ertoe leiden dat een verbinding die kort van afstand is toch een lange vaartijd vereist. Voor de langere verbindingen en deze waarvoor aanzienlijke vaartijden verwacht worden, ligt de vaste kost hoger. Voor kortere verbindingen ligt de vaste kost lager.

In tabel 9 worden de vaste kosten voor alle verbindingen weergegeven. Hierbij wordt rekening gehouden met het feit dat de verbindingen (3,4) en (4,3) zich in het havengebied bevinden. Hier kunnen aanzienlijke vertragingen voorkomen doordat sluisen gepasseerd worden. Voor deze verbindingen worden bijgevolg tijdskosten in rekening gebracht. Deze verbindingen vereisen echter enkel tijdskosten omdat deze praktisch altijd genomen worden door een reeds gecharterd schip. Omdat verondersteld wordt dat in het havengebied aanzienlijk tijd verloren gaat, worden de vaste kosten vastgesteld op 400 euro. Voor de verbindingen die het zelfstandig vervoer van terminal 1 uitbeelden, in het bijzonder de verbindingen (1,3), (1,4), (3,1) en (4,1), geldt een meerkost van 200 euro ten opzichte van de verbindingen (2,3), (2,4), (3,2) en (4,2). Deze meerkost wordt aangerekend omdat de relatieve afstand en bijgevolg ook de benodigde tijd tussen de terminal en het havengebied hoger ligt voor terminal 1 als voor terminal 2. De verbindingen (1,2) en (2,1) geven in deze praktijktoepassing de samenwerking tussen terminal 1 en terminal 2 weer. Aangezien beide terminals hun goederenstromen samenvoegen in geval van een samenwerkingsverband, geven deze verbindingen de bundelingskost weer. De vaste bundelingskosten zijn de overheadkosten die worden veroorzaakt door het tijdverlies dat

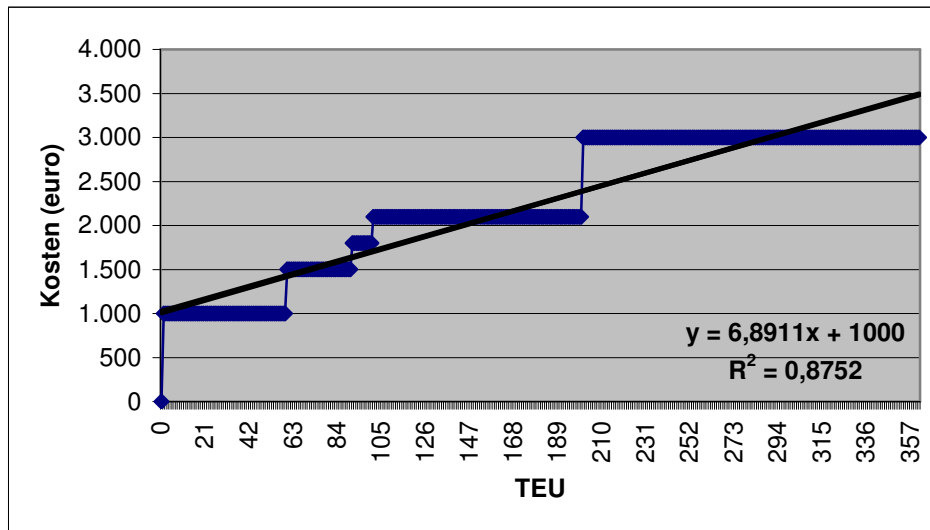
gepaard gaat met het additioneel aanmeren en de bijkomende overslag. Deze kosten gelden onafhankelijk van het aantal containers dat overgeslagen wordt. Als meerkost voor het bundelen wordt een vaste kost van 100 euro aangerekend. Deze kost wordt bovendien vermeerderd met 200 euro voor de afstand die overbrugd wordt tussen terminal 1 en 2.

	Bestemming:			
Oorsprong:	1	2	3	4
1	nvt	300	1200	1200
2	300	nvt	1000	1000
3	1200	1000	nvt	400
4	1200	1000	400	nvt

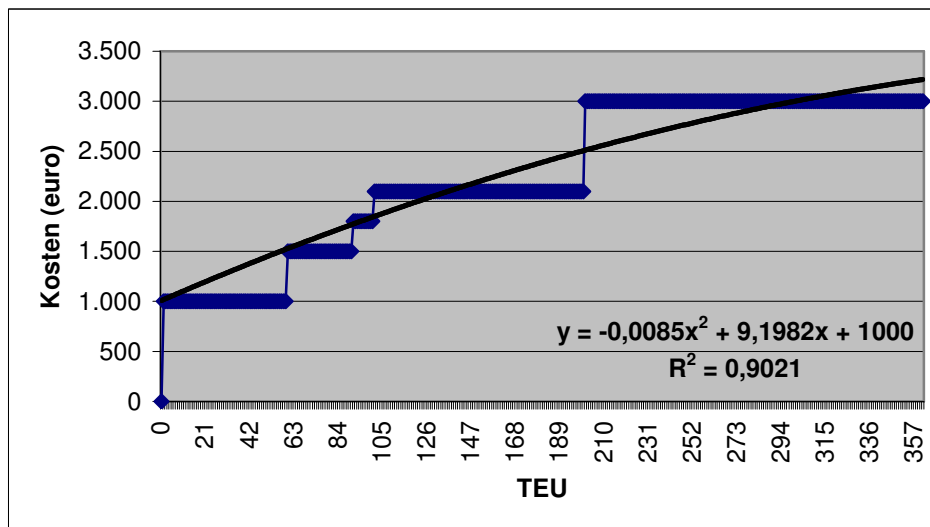
Tabel 9: Vaste kosten voor elke verbinding (in euro)

De volgende kostencomponent die geschat wordt, is k_l^p . Deze variabele kost geeft de transportkost van product p voor traject l en is gelijk aan $k_l^p = \sum_{(ij) \in A} c_{ij}^p \delta_{ij}^{lp}$. Om k_l^p te kunnen bepalen, is het noodzakelijk eerst c_{ij}^p vast te stellen. Deze geeft de kost per eenheid van product p over verbinding (i, j) . De parameter c_{ij}^p wordt vermenigvuldigd met de binaire parameter δ_{ij}^{lp} en deze moet gesommeerd worden voor alle verbindingen waaruit het traject bestaat. De parameter δ_{ij}^{lp} neemt de waarde 1 aan wanneer de verbinding (i, j) tot traject l behoort voor product p . Wanneer bijvoorbeeld de verbinding $(1,3)$ tot het eerste pad van product 1 behoort, dan geldt $\delta_{13}^{11} = 1$. Is dit niet het geval dan neemt deze parameter de waarde 0 aan.

Zoals eerder vermeld, geven de variabele kosten de overgang naar een groter binnenschip weer. Als basis voor het variabele kostengedeelte wordt vertrokken van de trapsgewijze totale kostenfunctie. Het uitgangspunt is dat slechts indien een kritische hoeveelheid containers overschreden wordt, het noodzakelijk zal zijn om naar een groter binnenschip over te gaan. Er bestaat namelijk geen binnenschip dat ideaal afgestemd is op de hoeveelheid goederen die per verbinding door het netwerk verzonden wordt. Om de complexiteit van deze praktijktoepassing handelbaar te houden, wordt deze trapsgewijze functie door een continue functie benaderd. In eerste instantie werden verschillende benaderingen tegen elkaar afgewogen. In figuren 18 en 19 worden de lineaire en de kwadratische benadering van de trapsgewijze totale kostenfunctie weergegeven.



Figuur 18: Grafische weergave trapgewijze functie en lineaire benadering



Figuur 19: Grafische weergave trapgewijze functie en kwadratische benadering

De determinatiecoëfficiënt R^2 geeft een indicatie van de betrouwbaarheid van de benadering. Meer bepaald geeft R^2 het aandeel (percentage) van de totale variatie in de kosten, dat statistisch verklaard wordt door de onafhankelijke variabele, het aantal TEU in ons geval. Dit betekent dat des te hoger de waarde van R^2 is, des te beter de kosten voorspeld worden uit het aantal TEU. Wanneer beide benaderingen vergeleken worden, blijkt dat ze allebei een betrekkelijk hoge R^2 vertonen. De lineaire benadering heeft een R^2 of een betrouwbaarheid van 87,52% en de kwadratische benadering heeft een R^2 van 90,21%. We opteren om verder te gaan met de lineaire benadering daar de kwadratische functie slechts een verbetering in betrouwbaarheid van 2,67% geeft terwijl de complexiteit aanzienlijk verhoogt.

Aangezien de benaderingen gebaseerd zijn op de totale kostenfunctie, dienen deze benaderende functies nog opgesplitst te worden in een vast en een variabel gedeelte. Door 1000 euro als intercept (afgesneden stuk) in te stellen wordt deze opsplitsing verkregen. Het intercept stelt de vaste kost van 1000 euro voor en de benaderende functie geeft de variabele kosten weer.

De variabele transportkost c_{ij}^p is de kost per eenheid van product p over verbinding (i, j) . In de praktijktoepassing wordt geen onderscheid gemaakt tussen de verschillende producten. De reden hiervoor is dat elk product een oorsprong-bestemming paar voorstelt zonder belang te hechten aan de waarde. De variabele kosten van de verbindingen zijn bijgevolg hetzelfde voor alle producten. In tabel 10 worden de variabele kosten voor elke verbinding gegeven.

	Bestemming:			
Oorsprong:	1	2	3	4
1	nvt	8,0000	6,8911	6,8911
2	8,0000	nvt	6,8911	6,8911
3	6,8911	6,8911	nvt	0
4	6,8911	6,8911	0	nvt

Tabel 10: Variabele transportkosten voor elke verbinding (in euro en per TEU)

De verbindingen (1,2) en (2,1) geven in deze praktijktoepassing gestalte aan een samenwerkingsverband tussen terminal 1 en terminal 2. Voor deze verbindingen worden bijgevolg variabele bundelingskosten aangerekend. Deze variabele bundelingskosten geven de additionele overslagkosten weer. Deze overslagkosten stijgen proportioneel met het aantal containers dat overgeslagen wordt. Na raadpleging van Vernimmen (2004) en Konings et al. (2006) wordt aangenomen dat een overslagtarief van gemiddeld 8 euro per laadeenheid aannemelijk is voor een binnenvaartterminal. Overslagkosten zijn echter sterk afhankelijk van de efficiëntie en de kosten van installaties, zoals kranen en 'reachstackers', die ingezet worden voor deze overslag. Afwijkingen van deze 8 euro per laadeenheid zijn bijgevolg mogelijk. Voor de verbindingen (3,4) en (4,3) gelden geen variabele kosten omdat hier enkel tijdverlies kan optreden en geen kosten veroorzaakt worden die proportioneel variëren met het aantal containers.

De variabele kost k_l^p geeft de variabele transportkost van product p voor pad l en is gelijk aan $k_l^p = \sum_{(ij) \in A} c_{ij}^p \delta_{ij}^l$. Gegeven informatie over de verzameling paden en over de variabele kost per verbinding is het mogelijk om k_l^p te berekenen. Deze kosten worden in tabel 11 weergegeven.

Product	Paden	Variabele kosten	Product	Paden	Variabele kosten
1 (1-3)	1 (1-3)	6,8911	5 (3-1)	1 (3-1)	6,8911
	2 (1-2-3)	14,8911		2 (3-2-1)	14,8911
	3 (1-4-3)	6,8911		3 (3-4-1)	6,8911
	4 (1-2-4-3)	14,8911		4 (3-4-2-1)	14,8911
2 (1-4)	1 (1-4)	6,8911	6 (4-1)	1 (4-1)	6,8911
	2 (1-2-4)	14,8911		2 (4-2-1)	14,8911
	3 (1-3-4)	6,8911		3 (4-3-1)	6,8911
	4 (1-2-3-4)	14,8911		4 (4-3-2-1)	14,8911
3 (2-3)	1 (2-3)	6,8911	7 (3-2)	1 (3-2)	6,8911
	2 (2-4-3)	6,8911		2 (3-4-2)	6,8911
	3 (2-1-3)	14,8911		3 (3-1-2)	14,8911
	4 (2-1-4-3)	14,8911		4 (3-4-1-2)	14,8911
4 (2-4)	1 (2-4)	6,8911	8 (4-2)	1 (4-2)	6,8911
	2 (2-3-4)	6,8911		2 (4-3-2)	6,8911
	3 (2-1-4)	14,8911		3 (4-1-2)	14,8911
	4 (2-1-3-4)	14,8911		4 (4-3-1-2)	14,8911

Tabel 11: Variabele transportkosten voor elk product over elk pad (in euro en per TEU)

7.2.3 Belang van de kosten

Gezien het belang van het gebruik van realistische kosten, hebben we ons gebaseerd op gegevens uit de literatuur, zoals deze van Vernimmen (2004) en Konings et al. (2006). Bovendien is nadere kosteninformatie ingewonnen bij een Vlaamse inland terminal. Op basis van deze informatie wordt de volgende trapsgewijze totale kostenfunctie bekomen:

$$f(x) = \begin{cases} 1.000 & \text{voor } x < 60 \\ 1.500 & \text{voor } 60 \leq x \leq 90 \\ 1.800 & \text{voor } 90 < x \leq 100 \\ 2.100 & \text{voor } 100 < x \leq 200 \\ 3.000 & \text{voor } x > 200 \end{cases}$$

Doch moet benadrukt worden dat het hier om een fictief voorbeeld gaat en de nadruk vooral op de opstelling van het model ligt. In dit opzicht is het vooral belangrijk dat de onderlinge kostenverhoudingen zo correct mogelijk zijn. De gehanteerde kosten dienen de kosten en baten

van een samenwerkingsverband te weerspiegelen. Wanneer dit model gebruikt zou worden in een concrete situatie in het bedrijfsleven is een verdere verfijning van de kosten noodzakelijk.

7.2.4 Veronderstellingen

Voordat tot de eigenlijke kostencalculatie overgaan wordt, is het noodzakelijk om een aantal veronderstellingen te maken.

- Exportgoederen worden verzonden van een inland terminal naar een terminal in de zeehaven en importgoederen (plus lege containers) worden getransporteerd van een zeehaventerminal naar een inland terminal.
- Het tijdsframe dat beschouwd wordt is één dag (of 24u). Er wordt vanuit gegaan dat het mogelijk is om binnen deze tijdsperiode één rondvaart of 'round trip' uit te voeren. Een rondvaart betekent dat hetzelfde binnenschip heen en terug vaart.
- In deze praktijktoepassing wordt de veronderstelling gemaakt dat enkel TEU containers gebruikt worden. Met andere woorden slechts één type container wordt gebruikt.
- Kleine schepen (tot 90 TEU) beschikken meestal niet over de nodige bemanning om een continue service aan te bieden en dienen dus noodgedwongen 's avonds en in het weekend te stoppen met varen. Deze kleinere schepen zijn echter sneller en brengen minder tijd in havengebieden door aangezien de overslag minder lang duurt. Grote lichters hebben meestal extra bemanning en kunnen daarom 24u op 24u en 7 dagen op 7 varen. Doordat deze grote lichters een hoge capaciteit hebben, zijn deze trager en brengen ze meer tijd door in havengebieden. In de praktijktoepassing wordt ervan uitgegaan dat het voor zowel grote als kleine schepen mogelijk is om een 'round trip' of rondvaart uit te voeren binnen het tijdsframe van één dag. Dat betekent dat hetzelfde schip heen en terug vaart binnen het tijdsframe van één dag.
- In het optimalisatiemodel wordt enkel getracht de totale kosten te optimaliseren. De verdeling van deze totale kosten naar de twee terminals valt bijgevolg buiten het bestek van deze eindverhandeling. Om toch een idee te hebben van de ordegrrootte van de kosten per terminal bij samenwerking, worden de totale kosten verdeeld over beide partijen pro rato het aantal containers dat hen toebehoort.
- In Konings (2003) wordt geargumenteed om eerst de frequentie en pas later de scheepsgrootte te laten toenemen indien het beschikbare netwerkvolume toeneemt. Door de frequentie te laten toenemen wordt een betere dienstverlening geleverd aan de consumenten doch de voordelen van samenwerking zijn in dit geval niet duidelijk meetbaar. Daarom is geopteerd om binnen het kader van deze eindverhandeling de focus te leggen op de overgang naar een groter vaartuig.

- Omdat het slechts om een beperkt praktijkprobleem gaat, is het mogelijk om de exacte kosten van elk alternatief uit te rekenen. Er worden bijgevolg in eerste instantie geen globale optimalisatietechnieken toegepast. Concreet worden eerst de kosten voor vier aannemelijke alternatieven handmatig berekend. Vervolgens wordt met behulp van de optimaliseringssoftware LINGO de optimale oplossing bepaald.

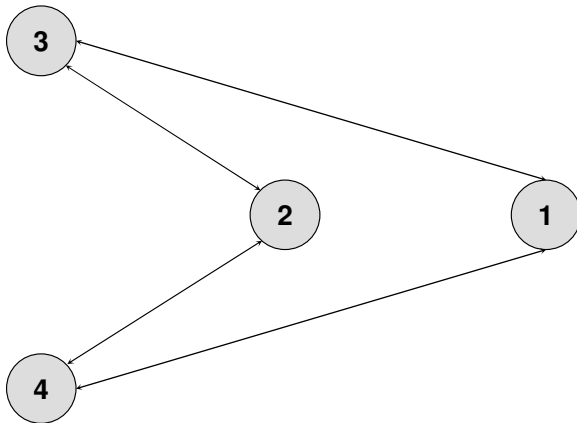
7.3 Kostencalculatie

In de volgende paragrafen worden allereerst de kosten voor vier logische alternatieven handmatig uitgerekend. Hierna worden deze alternatieven twee aan twee vergeleken. Op deze manier hopen we een eerste inzicht te verkrijgen in de kostenvoordelen die realiseerbaar zouden kunnen zijn door het vervoer gezamenlijk te organiseren. Daarenboven wordt de correctheid van het model nagegaan. Vervolgens wordt het model uitgewerkt met behulp van het softwareprogramma LINGO. Op deze wijze wordt de optimale oplossing, namelijk de optimale toewijzing van hoeveelheden aan paden, voor onze specifieke praktijksituatie verkregen. Ten slotte worden een aantal conclusies getrokken uit de uitgevoerde kostencalculatie.

7.3.1 Alternatief 1: zelfstandige organisatie met twee binnenschepen

In het eerste alternatief wordt uitgegaan van een situatie waarin beide terminals het vervoer afzonderlijk organiseren. In deze situatie legt elke terminal twee binnenschepen in die ieder een haventerminal aandoen. De terminals plaatsen bijgevolg het accent op een vlotte dienstverlening naar de consumenten toe.

Omdat de inland terminals het goederenvervoer onafhankelijk van elkaar inrichten, maken beide uitsluitend gebruik van de rechtstreekse paden. De vaste kosten van de verbindingen komen volledig ten laste van de afzonderlijke terminals. In figuur 20 wordt het netwerk met de verbindingen, die van toepassing zijn, grafisch weergegeven.



Figuur 20: Netwerk alternatief 1

In tabel 12 wordt de kostenberekening weergegeven voor het eerste alternatief. De kosten zijn berekend per product en worden opgesplitst in hun variabel en vast gedeelte. In tabel 13 worden deze kosten toegewezen aan beide inland terminals. Omdat de twee terminals in dit alternatief onafhankelijk van elkaar werken, is het mogelijk om de kosten exact aan een terminal toe te wijzen.

Product	Gekozen pad	Vaste kosten	Variabele kosten	Totale kosten
1 (1-3)	1 (1-3)	1.200,00	565,07	1.765,07
2 (1-4)	1 (1-4)	1.200,00	282,54	1.482,54
3 (2-3)	1 (2-3)	1.000,00	1.274,85	2.274,85
4 (2-4)	1 (2-4)	1.000,00	365,23	1.365,23
5 (3-1)	1 (3-1)	1.200,00	413,47	1.613,47
6 (4-1)	1 (4-1)	1.200,00	172,28	1.372,28
7 (3-2)	1 (3-2)	1.000,00	620,20	1.620,20
8 (4-2)	1 (4-2)	1.000,00	461,70	1.461,70
Totaal				12.955,33

Tabel 12: Kostenberekening alternatief 1

Terminal	Totale kosten
1	6.233,35
2	6.721,98
TOTAAL	12.955,33

Tabel 13: Kosten per terminal volgens de lineaire benadering

Omdat deze kosten gebaseerd zijn op de benaderende functie kunnen ze mogelijk een vertekend beeld geven van de realiteit. Daarom worden tevens de reële kosten uitgerekend overeenkomstig de trapsgewijze totale kostenfunctie.

Terminal	Totale Kosten
1	5.800,00
2	7.200,00
TOTAAL	13.000,00

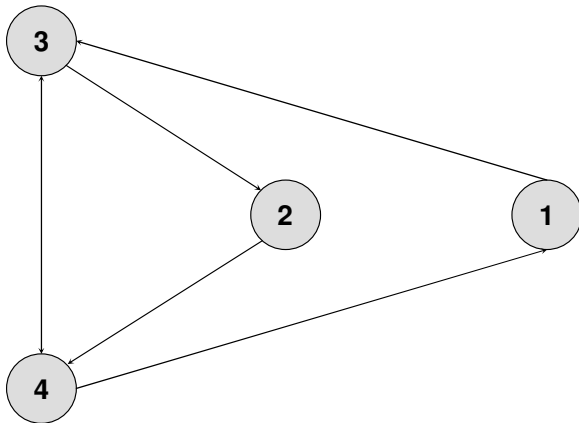
Tabel 14: Kosten volgens de trapsgewijze totale kostenfunctie

Uit deze kostenberekening blijkt dat de totale kosten vrij goed benaderd worden door de lineaire functie. Enkel de verdeling naar de twee terminals verschilt met de werkelijke situatie. De kosten van terminal 1 worden namelijk iets overschat door de benadering en deze van terminal 2 worden iets onderschat. Dit is te verklaren door het verschil in export en importhoeveelheden. De benadering gaat er in feite vanuit dat voor elke ladingshoeveelheid een overeenkomstig schip bestaat. In werkelijkheid wordt echter een rondvaart uitgevoerd en vaart hetzelfde binnenschip zowel heen als terug. Wanneer de import- en exporthoeveelheden erg verschillen zal dit tot een over- of onderschatting van de kosten per terminal leiden.

7.3.2 *Alternatief 2: zelfstandige organisatie met één binnenschip*

In het tweede alternatief wordt eveneens uitgegaan van een situatie waarin beide terminals het goederenvervoer afzonderlijk organiseren. Dit alternatief verschilt van het vorige alternatief wat betreft het aantal binnenschepen dat elke achterlandterminal inlegt. In alternatief 1 legt elke inland terminal twee binnenschepen in die elk een haventerminal aandoen. In dit alternatief daarentegen legt elke inland terminal slechts één binnenschip dat beide haventerminals aandoet. Elke terminal bundelt met andere woorden de containers van beide haventerminals zodat de terminal een vaartuig met een grotere capaciteit kan inzetten en van schaalvoordelen kan profiteren. In deze situatie is de dienstverlening naar de consumenten toe minder belangrijk maar ligt de nadruk meer op kostenefficiëntie.

Ook in deze situatie wordt gebruik gemaakt van de rechtstreekse paden. Omdat hetzelfde binnenschip beide haventerminals aandoet, wordt gebruik gemaakt van verbindingen (3,4) en (4,3). In figuur 21 wordt het netwerk met de verbindingen, die van toepassing zijn, grafisch weergegeven.



Figuur 21: Netwerk alternatief 2

In tabel 15 wordt de kostenberekening voor het tweede alternatief weergegeven. In tabel 16 worden deze kosten toegewezen aan de twee inland terminals.

Product	Gekozen pad	Vaste kosten	Variabele kosten	Totale kosten
1 (1-3)	1 (1-3)	1.200,00	565,07	1.765,07
2 (1-4)	3 (1-3-4)	400,00	282,54	682,54
3 (2-3)	2 (2-4-3)	400,00	1.274,85	1.674,85
4 (2-4)	1 (2-4)	1.000,00	365,23	1.365,23
5 (3-1)	3 (3-4-1)	0,00	413,47	413,47
6 (4-1)	1 (4-1)	1.200,00	172,28	1.372,28
7 (3-2)	1 (3-2)	1.000,00	620,20	1.620,20
8 (4-2)	2 (4-3-2)	0,00	461,70	461,70
Totaal				9.355,33

Tabel 15: Kostenberekening alternatief 2

Terminal	Totale kosten
1	4.233,35
2	5.121,98
TOTAAL	9.355,33

Tabel 16: Kosten per terminal volgens de lineaire benadering

Ook hier kunnen de kosten mogelijk een vertekend beeld geven van de realiteit omdat ze gebaseerd zijn op de benaderende lineaire functie. Daarom worden opnieuw de reële kosten uitgerekend overeenkomstig de werkelijke trapsgewijze totale kostenfunctie.

Terminal	Totale Kosten
1	5.000,00
2	6.400,00
TOTAAL	11.400,00

Tabel 17: Kosten volgens de trapsgewijze totale kostenfunctie

We merken op dat de lineaire benadering in dit alternatief een vrij grote onderschatting maakt van de totale kosten. Deze onderschatting is te wijten aan het feit dat de lineaire benadering ervan uitgaat dat de grootte van het binnenschip ideaal afgestemd is op de vervoerde hoeveelheden. In werkelijkheid geldt dit echter niet.

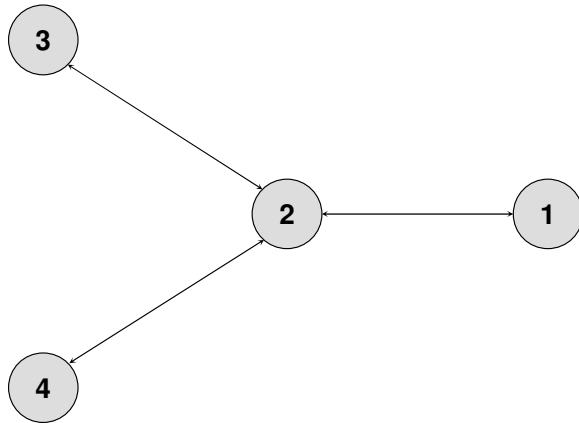
Tevens wordt opgemerkt dat een probleem aanwezig is wat de verbindingen (3,4) en (4,3) betreft. Volgens de formulering van het optimalistiemodel kunnen de vaste kosten van deze verbindingen slechts éénmaal aangerekend worden. Indien terminal 1 en 2 echter hun goederenvervoer onafhankelijk van elkaar organiseren, kunnen ze beiden gebruik maken van dezelfde verbinding. Dit betekent dat de verbindingen (3,4) en (4,3) in realiteit meermaals gebruikt kunnen worden en de vaste kosten eveneens meerdere keren aangerekend moeten worden. De binaire beperking van de beslissingsvariabele y_{ij} verhindert dit. Om dit probleem op te lossen dient de formulering van het netwerkmodel aangepast te worden. Meer bepaald dient een onderscheid gemaakt te worden tussen de verschillende verbindingen die aanwezig zijn in het netwerk, in het bijzonder havenverbindingen, bundelingsverbindingen en verbindingen die een zelfstandige organisatie van het transport weergeven. Daar dit alternatief handmatig uitgerekend is, hebben we dit probleem voorlopig opgelost door voor terminal 1 de verbinding (3,4) op te nemen en voor terminal 2 de verbinding (4,3). Aangezien het model echter een optimalisatiemodel is dat de totale kosten tracht te minimaliseren, komen beide verbindingen nooit samen in de optimale oplossing voor.

7.3.3 Alternatief 3: samenwerking met twee binnenschepen

In het derde alternatief wordt uitgegaan van een situatie waarin beide terminals het goederenvervoer gezamenlijk organiseren. In deze situatie bundelen de inland terminals hun goederenstromen en leggen ze samen twee binnenschepen in die elk een zeehaventerminal aandoen. In deze situatie wordt zowel genoten van schaalvoordelen door het inzetten van grotere vaartuigen als een vlotte dienstverlening naar de consumenten toe.

Omdat de inland terminals het goederenvervoer gezamenlijk inrichten, wordt gebruik gemaakt van de specifieke verbindingen (1,2) en (2,1). Deze verbindingen brengen de additionele kosten

van samenwerking in rekening. Tevens is het mogelijk om de vaste kosten van de verbindingen samen te dragen door samen te werken. In figuur 22 wordt het netwerk met de verbindingen, die van toepassing zijn, grafisch weergegeven.



Figuur 22: Netwerk alternatief 3

In tabel 18 wordt de kostenberekening weergegeven voor het derde alternatief.

Product	Gekozen pad	Vaste kosten	Variabele kosten	Totale kosten
1 (1-3)	2 (1-2-3)	1.300,00	1.221,07	2.521,07
2 (1-4)	2 (1-2-4)	1.000,00	610,54	1.610,54
3 (2-3)	1 (2-3)	0,00	1.274,85	1.274,85
4 (2-4)	1 (2-4)	0,00	365,23	365,23
5 (3-1)	2 (3-2-1)	1.300,00	893,47	2.193,47
6 (4-1)	2 (4-2-1)	1.000,00	372,28	1.372,28
7 (3-2)	1 (3-2)	0,00	620,20	620,20
8 (4-2)	1 (4-2)	0,00	461,70	461,70
Totaal				10.419,33

Tabel 18: Kostenberekening alternatief 3

In tabel 19 worden deze kosten toegewezen aan de twee inland terminals. De verdeling van de totale kosten naar de twee inland terminals is gebeurd pro rato het aantal containers dat aan de respectievelijke terminals toebehoort.

Terminal	Totale kosten
1	3.594,07
2	6.825,27
TOTAAL	10.419,33

Tabel 19: Kosten per terminal volgens de lineaire benadering

De reële kosten overeenkomstig de trapsgewijze totale kostenfunctie worden weergegeven in tabel 20. Hier zijn de totale kosten opnieuw naar de twee inland terminals verdeeld pro rato het aantal containers dat aan de respectievelijke terminals toebehoren.

Terminal	Totale Kosten
1	4.092,39
2	7.771,61
TOTAAL	11.864,00

Tabel 20: Kosten volgens de trapsgewijze totale kostenfunctie

Voor alternatief 3 kan eveneens opgemerkt worden dat de lineaire benadering een onderschatting maakt van de werkelijke totale kosten. Dit is opnieuw te wijten aan het feit dat de lineaire benadering ervan uitgaat dat de grootte van het binnenschip ideaal afgestemd is op de vervoerde hoeveelheden.

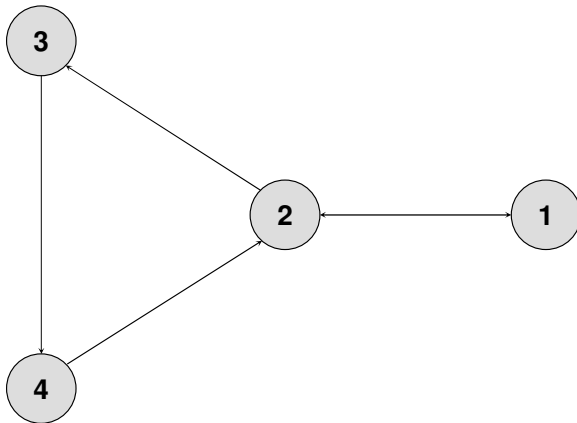
In alternatief 3 wordt hetzelfde probleem opgemerkt als in alternatief 2 doch voor de verbindingen (1,2) en (2,1). De vaste kosten van deze verbindingen zouden wederom meermaals aangerekend moeten worden wanneer er vanuit gegaan wordt dat beide binnenschepen in terminal 1 vertrekken. De enige oplossing voor dit probleem is een aanpassing van de formulering van het model.

7.3.4 Alternatief 4: samenwerking met één binnenschip

In het vierde alternatief ten slotte wordt opnieuw uitgegaan van een gezamenlijke organisatie van het goederenvervoer. In dit alternatief bundelen de inland terminals hun goederenstromen en leggen ze samen één groot binnenschip in dat beide terminals in het havengebied aanloopt. In deze situatie worden schaalvoordelen optimaal benut.

In deze situatie wordt wederom gebruik gemaakt van de specifieke verbindingen (1,2) en (2,1) die de additionele bundelingskosten in rekening brengen. Omdat hetzelfde binnenschip beide haventerminals aandoet, wordt tevens gebruik gemaakt van verbinding (3,4). In figuur 23 wordt het netwerk overeenkomstig alternatief 4 grafisch weergegeven.

In tabel 21 wordt de kostenberekening weergegeven voor het vierde alternatief. In tabel 22 worden deze kosten toegewezen aan de twee inland terminals. De verdeling van de totale kosten naar de twee inland terminals is nogmaals pro rato het aantal containers dat aan de respectievelijke terminals toebehoort.



Figuur 23: Netwerk alternatief 4

Product	Gekozen pad	Vaste kosten	Variabele kosten	Totale kosten
1 (1-3)	2 (1-2-3)	1.300,00	1.221,07	2.521,07
2 (1-4)	4 (1-2-3-4)	400,00	610,54	1.010,54
3 (2-3)	1 (2-3)	0,00	1.274,85	1.274,85
4 (2-4)	2 (2-3-4)	0,00	365,23	365,23
5 (3-1)	4 (3-4-2-1)	1.300,00	893,47	2.193,47
6 (4-1)	2 (4-2-1)	0,00	372,28	372,28
7 (3-2)	2 (3-4-2)	0,00	620,20	620,20
8 (4-2)	1 (4-2)	0,00	461,70	461,70
Totaal				8.819,33

Tabel 21: Kostenberekening alternatief 4

Terminal	Totale kosten
1	3.042,16
2	5.777,18
TOTAAL	8.819,33

Tabel 22: Kosten per terminal volgens de lineaire benadering

De reële kosten overeenkomstig de trapsgewijze totale kostenfunctie worden weergegeven in tabel 22. De totale kosten worden naar de twee inland terminals verdeeld pro rato het aantal containers dat aan de respectievelijke terminals toebehoren.

Terminal	Totale Kosten
1	2.988,58
2	5.675,42
TOTAAL	8.664,00

Tabel 23: Kosten volgens de trapsgewijze totale kostenfunctie

De totale kosten worden voor dit alternatief vrij goed benaderd door de lineaire functie. De totale kosten van de benadering verschillen slechts minimaal van de werkelijke totale kosten.

Vervolgens worden de vier alternatieven twee aan twee met elkaar vergeleken. Zodoende hopen we een eerste inzicht te verwerven in de invloed die samenwerking heeft op de kostenefficiëntie van terminals. Tevens wordt de correctheid van het model nader belicht.

7.3.5 Vergelijking alternatief 1 en alternatief 3

In tabel 24 en tabel 25 worden de kosten per terminal en de totale kosten voor de twee alternatieven herhaald. De linkerkant van de tabel geeft telkens de kosten volgens de lineaire benadering en de rechterkant de kosten volgens de trapsgewijze totale kostenfunctie.

Terminal	Totale kosten	Terminal	Totale Kosten
1	6.233,35	1	5.800,00
2	6.721,98	2	7.200,00
TOTAAL	12.955,33	TOTAAL	13.000,00

Tabel 24: Herhaling kosten alternatief 1 volgens de lineaire benadering en volgens de trapsgewijze totale kostenfunctie

Terminal	Totale kosten	Terminal	Totale Kosten
1	3.594,07	1	4.092,39
2	6.825,27	2	7.771,61
TOTAAL	10.419,33	TOTAAL	11.864,00

Tabel 25: Herhaling kosten alternatief 3 volgens de lineaire benadering en volgens de trapsgewijze totale kostenfunctie

Bij vergelijking van alternatief 1 met alternatief 3 blijkt duidelijk dat de totale kosten lager liggen bij samenwerking. Zowel wat de lineaire benadering als de werkelijke kostenberekening betreft. Dit betekent dat de daling in vaste kosten sterker is dan de additionele bundelingskost. Het blijkt bijgevolg dat samenwerking door bundeling een gunstige invloed heeft op de totale kostenefficiëntie. Het kostenverschil, gerealiseerd door samenwerking, kan beschouwd worden als de waarde van de synergie. Wel dient opgemerkt te worden dat volgens de lineaire benadering de voordelen door samenwerking groter zijn dan volgens de werkelijke kostenfunctie. In de lineaire benadering blijkt dat 2.536 euro uitgespaard kan worden terwijl uit de werkelijke kostenfunctie blijkt dat slechts 1.136 euro uitgespaard kan worden. De belangrijkste reden hiervoor is de onderschatting van de kosten in alternatief 3.

Vervolgens worden de kosten per terminal vergeleken voor de twee situaties. Hieruit blijkt dat vooral terminal 1 voordeel haalt uit een samenwerkingsverband. Voor terminal 2 lijkt een samenwerkingsverband minder gunstig. Aangezien de totale kosten lager zijn wanneer beide terminals samenwerken, is het belangrijk dat deze kosten op een duurzame manier verdeeld worden onder de twee terminals. Zoniet zal terminal 2 niet bereid zijn om tot samenwerking over te gaan.

7.3.6 Vergelijking alternatief 2 en alternatief 4

In tabel 26 en tabel 27 worden de kosten per terminal en de totale kosten voor de twee alternatieven opnieuw herhaald.

Terminal	Totale kosten	Terminal	Totale Kosten
1	4.233,35	1	5.000,00
2	5.121,98	2	6.400,00
TOTAAL	9.355,33	TOTAAL	11.400,00

Tabel 26: Herhaling kosten alternatief 2 volgens de lineaire benadering en volgens de trapsgewijze totale kostenfunctie

Terminal	Totale kosten	Terminal	Totale Kosten
1	3.042,16	1	2.988,58
2	5.777,18	2	5.675,42
TOTAAL	8.819,33	TOTAAL	8.664,00

Tabel 27: Herhaling kosten alternatief 4 volgens de lineaire benadering en volgens de trapsgewijze totale kostenfunctie

Indien alternatief 2 vergeleken wordt met alternatief 4, blijkt dat de totale kosten lager liggen in alternatief 4, waar de inland terminals samenwerken. Wederom zowel voor de lineaire benadering als voor de werkelijke kostenberekening. Dit betekent dat de additionele kosten van samenwerking gecompenseerd worden door een daling van de vaste kosten. Bijgevolg heeft samenwerking een positieve invloed op de globale kostenefficiëntie. Wel dient opgemerkt te worden dat de lineaire benadering de voordelen van samenwerking sterk onderschat. Uit de lineaire benadering blijkt dat slechts 536 euro uitgespaard kan worden terwijl de werkelijke kostenfunctie aantoont dat 2.736 euro uitgespaard kan worden. De verklaring hiervoor is de onderschatting van de totale kosten in alternatief 2 en de overschatting van de totale kosten in alternatief 4.

Vervolgens worden de kosten per terminal vergeleken voor de twee alternatieven. Hieruit valt op dat een contradictie bestaat tussen de resultaten van de lineaire benadering en de werkelijke kostenfunctie. Uit de lineaire benadering blijkt dat het opnieuw voordelig is voor terminal 1 om samen te werken. Voor terminal 2 lijkt een samenwerkingsverband minder gunstig en valt het duurder uit om goederenstromen te bundelen. Wanneer echter de werkelijke kostengegevens beschouwd worden, blijkt dat het voor beide terminals gunstiger is om samen te werken. De onderschatting van de totale kosten in alternatief 2 en de overschatting van de totale kosten in alternatief 4 zorgt bijgevolg voor een vertekend beeld van de voordelen van samenwerking wat de verschillende terminals betreft.

7.3.7 Algemene conclusie uit de vergelijking van de alternatieven

Globaal genomen blijkt samenwerking een positieve invloed uit te oefenen op de totale kostenefficiëntie. Voorgaande kostenvergelijkingen tonen aan dat de totale kosten van de twee binnenvaartterminals steeds lager liggen in de alternatieven waar de terminals een samenwerkingsverband aangaan.

Het blijft echter onduidelijk ofdat samenwerking ook voor beide terminals even gunstig is. Hier dient wel opgemerkt te worden dat ons optimalisatiemodel enkel de totale kosten tracht te optimaliseren. De verdeling van de kosten naar de twee terminals toe valt bijgevolg buiten het bestek van deze eindverhandeling. Andere studies, zoals onder andere Theys et al. (2008), gaan dieper in op een eerlijke verdeling van kosten en baten onder de verschillende partijen in een samenwerkingsverband. Zo maken Theys et al. (2008) gebruik van technieken van speltheorie om tot een optimale verdeling te komen. Uit de vergelijking van de vier alternatieven bleek duidelijk dat het verdelen van de kosten en de baten onder de verschillende partners soms niet éénduidig is. Ondanks een globale verbetering van de kosten zullen sommige partners minder geneigd zijn om tot samenwerking over te gaan aangezien vooral de andere partner profijt heeft. De uitgevoerde kostencalculatie geeft duidelijk aan dat een problematiek bestaat rond de verdeling van de kosten en de baten.

Het is eveneens essentieel dat het optimalisatiemodel tot de juiste conclusies leidt. Dit kan in de eerste plaats nagegaan worden door de gevolgtrekkingen op basis van de benaderende functie te vergelijken met deze op basis van de trapsgewijze totale kostenfunctie. Indien deze bevindingen dezelfde zijn, wordt aangenomen dat het netwerkmodel relatief accuraat is. Wat de totale kosten betreft, kan vastgesteld worden dat de bevindingen op basis van de benadering overeenkomstig zijn aan deze van de werkelijke kostenfunctie. De kosten zijn weliswaar niet volkomen correct, maar de conclusies zijn hetzelfde. Hier dient evenwel opgemerkt te worden dat een over- en onderschatting van de werkelijke kosten onvermijdbaar is aangezien het

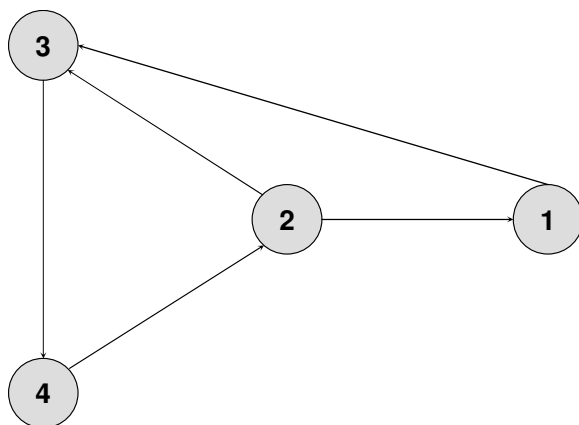
kostenmodel uitgaat van een benaderende functie. De enige manier om een volledig accuraat kostenmodel te ontwikkelen, is het incorporeren van de werkelijke stapsgewijze kostenfunctie. Ondanks de relatief grote vastgestelde onder- en overschattingen van de totale kosten, wordt geopteerd in deze praktijkstudie verder te gaan met het kostenmodel op basis van de lineaire benadering. Doch indien het model in de praktijk toegepast zou worden, wordt sterk aangeraden uit te gaan van de (werkelijke) trapsgewijze kostenfunctie.

Uit de kostenberekeningen van de verschillende alternatieven is gebleken dat een onvolkomenheid aanwezig is in de formulering van het optimalisatiemodel. Wat verbindingen (1,2), (2,1), (3,4) en (4,3) betreft, dient het model aangepast te worden zodat de verbinding meermaals gekozen kan worden.

7.3.8 Uitwerking praktijkprobleem 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 uitgewerkte model van deze praktijktoepassing werd eveneens omgezet in de LINGO modelleringstaal om de optimale oplossing te bekomen. In bijlage 7 kan het model in LINGO-taal teruggevonden worden.

De optimale oplossing van onze hypothetische praktijksituatie blijkt een zelfstandige organisatie van het vervoer naar en een gezamenlijke organisatie vanuit het havengebied te zijn. Het optimale netwerk wordt weergegeven in figuur 24.



Figuur 24: Netwerk optimale oplossing

In tabel 28 worden de bijbehorende kostenberekeningen per product weergegeven voor deze optimale oplossing.

Uit deze oplossing blijkt dat het optimaal is voor deze specifieke situatie en gegeven het netwerkvolume dat elke terminal afzonderlijk één binnenschip inlegt dat beide haventerminals aandoet voor de export van goederen. Het importvervoer van het havengebied naar de inland terminals gebeurt door gezamenlijk één binnenschip in te leggen. De aanleiding hiervoor ligt in het feit dat steeds een relatief grote afwijking bestaat tussen de export- en de importhoeveelheden. Deze hoeveelhedsverschillen in het netwerkvolume maken het aannemelijk om enkel samen te werken voor de terugvaart. Het bepalen van een oplossing voor dit onevenwicht in import- en exportstromen was tevens een uitgangspunt in het eerder vermelde samenwerkingsproject SIKZNEB.

Product	Gekozen pad	Vaste kosten	Variabele kosten	Totale kosten
1 (1-3)	1 (1-3)	1.200,00	565,07	1.765,07
2 (1-4)	3 (1-3-4)	400,00	282,54	682,54
3 (2-3)	1 (2-3)	1000,00	1.274,85	2.274,85
4 (2-4)	2 (2-3-4)	0,00	365,23	365,23
5 (3-1)	4 (3-4-2-1)	1.300,00	893,47	2.193,47
6 (4-1)	2 (4-2-1)	0,00	372,28	372,28
7 (3-2)	2 (3-4-2)	0,00	620,20	620,20
8 (4-2)	1 (4-2)	0,00	461,70	461,70
Totaal				8735,33

Tabel 28: Kostenberekeningen optimale oplossing

De optimale oplossing geeft bijgevolg aan dat overeenkomstig het gegeven netwerkvolume het optimaal is om enkel voor de terugvaart samen te werken. In dit geval verantwoordt de exportvolumes een zelfstandige organisatie van het goederenvervoer naar het havengebied. De hoeveelheden die geïmporteerd worden daarentegen, liggen meestal een stuk lager dan de exporthoeveelheden. Hierdoor hebben de binnenschepen bij terugvaart een lage beladingsgraad, wat de kostenefficiëntie negatief beïnvloedt. Bij beschouwing van de import- en exporthoeveelheden van de concrete praktijksituatie, blijkt dat het inderdaad voldoende is als enkel het binnenschip, ingelegd door terminal 2, terugvaart. Op deze manier vaart één binnenschip dat praktisch volledig beladen is terug in plaats van twee binnenschepen die slechts voor de helft beladen zijn.

Hierbij dient opgemerkt te worden dat twee binnenschepen naar het havengebieden vertrekken, terwijl slechts één binnenschip terugkeert. Dit is niet conform aan de gemaakte veronderstelling dat éénzelfde schip een rondvaart maakt. Echter, in realiteit zou het mogelijk zijn om een schip enkel voor een halve dag of een 'one-way transport' te charteren. Het kan tevens zijn dat een

inland terminal het goederentransport naar twee havengebieden combineert om op deze manier minder onderhevig te zijn aan verschillen in import- en exporthoeveelheden.

7.4 Sensitiviteitsanalyse

Het laatste onderdeel van het praktijkgedeelte van deze eindverhandeling beslaat een sensitiviteitsanalyse. In Hillier en Lieberman (2005) wordt aangegeven dat een optimale oplossing slechts optimaal is ten opzichte van het specifieke model dat gebruikt wordt om het reële probleem voor te stellen. Deze optimale oplossing dient onderzocht te worden voor andere aannemelijke voorstellingen van het probleem. Het is, met andere woorden, belangrijk om na te gaan welke invloed veranderingen in de parameters uitoefenen op de optimale oplossing.

Door middel van een sensitiviteitsanalyse wordt nagegaan hoe gevoelig de bekomen resultaten zijn voor veranderingen in de gebruikte parameters in beperkingen en doelfunctie. Gevoelige en belangrijke parameters komen door het uitvoeren van een sensitiviteitsanalyse aan het licht. Tevens kunnen mogelijke boven- en ondergrenzen voor deze parameters afgeleid worden. Deze grenzen duiden de waarden van het interval aan waarbinnen de optimale oplossing onveranderd blijft.

Daar niet alle kostengegevens even cruciaal zijn binnen deze praktijkstudie wordt de sensitiviteitsanalyse beperkt tot de coëfficiënten van de doelfunctie. Deze coëfficiënten zijn de waarden van de variabele kosten per eenheid product over een bepaald pad en de vaste kosten voor het opnemen van een verbinding.

Binnen de variabele kosten wordt verwacht dat voornamelijk de overslagkosten een invloed uitoefenen op de optimale oplossing. Bij een samenwerkingsverband wordt de additionele overslag immers gecompenseerd door een vermindering in vaste kosten. Verwacht wordt dat indien deze overslagkosten toenemen en een bepaalde bovengrens bereiken, samenwerking niet langer aantrekkelijk is.

Voor de vaste kosten wordt relevant geacht om de veronderstelde meerkosten te inspecteren. De reden hiervoor is dat over deze vaste meerkosten de meeste onzekerheid heerst. De overige vaste kosten zijn bepaald op basis van een bevraging en dienen tevens als basis voor de lineaire benadering. Wijzigingen in de waarde van één parameter veroorzaken een verandering van de volledige benadering en leiden bijgevolg tot wijzigingen van nagenoeg alle vaste en variabele parameters.

Een sensitiviteitsanalyse van de gebruikte parameters in de beperkingen wordt minder relevant geacht. De eerste beperking zorgt ervoor dat aan de vraag voldaan wordt voor elk product.

Deze vraag of het aanwezige netwerkvolume vormt het uitgangspunt van het ontwikkelde model. Het is bijgevolg niet nodig de sensitiviteit voor deze parameter na te gaan. De tweede beperking zorgt ervoor dat een verbinding geopend wordt zodra een goederenstroom plaatsvindt over deze verbinding. Tevens controleert de tweede beperking de capaciteit van de verbindingen. Aangezien verondersteld wordt dat de binnenvaart in België over voldoende restcapaciteit beschikt, heeft deze beperking weinig belang voor ons specifiek model. In de volgende paragrafen wordt de invloed van individuele veranderingen in parameters bestudeerd.

7.4.1 Sensitiviteit van de variabele overslagkosten

In het netwerkmodel wordt uitgegaan van een overslagkost van 8 euro per ladingseenheid. In werkelijkheid is het mogelijk dat deze kosten aanzienlijk van dit getal afwijken in beide richtingen. We veronderstellen dat 8 euro een gemiddelde is en dat de afwijkingen maximaal 50% bedragen, wat overeenkomt met een interval van 4 euro tot 12 euro. De overslagkosten variëren in stappen van telkens 1 euro. In tabel 29 en tabel 30 worden de resultaten van de sensitiviteitsanalyse van de overslagkosten weergegeven.

Overslagkosten	Wijziging overslagkosten	Totale kosten	Verandering optimale oplossing?
8	+0	8735	Beginsituatie
9	+1	8820	Nee
10	+2	8905	Nee
11	+3	8955	Ja
12	+4	8955	Nee

Tabel 29: Sensitiviteitsanalyse overslagkosten wanneer kosten toenemen

Uit tabel 29 blijkt dat een verandering in de optimale oplossing optreedt in het interval [10, 11]. De exacte waarde van het overgangspunt wordt vastgesteld op 10,59 euro. Wanneer de overslagkost per ladingseenheid deze bovengrens van 10,59 euro bereikt, verandert de optimale oplossing en worden andere verbindingen in het netwerk opgenomen. Hierna zal het voordeliger zijn om het goederenvervoer naar en van het havengebied afzonderlijk te organiseren. Dit komt overeen met het netwerk uit voorgaand alternatief 2. Een verdere toename van de overslagkosten zal geen effect uitoefenen aangezien de verbindingen (1,2) en (2,1) niet meer voorkomen in het gewijzigde netwerk.

De overslagkost per ladingseenheid kan in werkelijkheid ook lager liggen dan de vooropgestelde 8 euro. Uit tabel 30 blijkt dat een verandering in de optimale oplossing optreedt in het interval tussen een overslagkost van 7 euro en 8 euro. De exacte waarde van het overgangspunt wordt

vastgesteld bij 7,32 euro. Dit overgangspunt geeft de ondergrens van de optimale oplossing aan. Onder deze 7,32 euro zullen andere verbindingen in het dienstennetwerk opgenomen worden en geldt een nieuwe optimale oplossing. Wanneer de overslagkost per ladingseenheid deze ondergrens bereikt, wordt het voordeliger om zowel het goederenvervoer naar als vanuit het havengebied gezamenlijk te organiseren. Dit komt overeen met het netwerk uit voorgaand alternatief 4. Een verdere afname van de overslagkosten oefent enkel een invloed uit op de totale kosten maar niet op de optimale oplossing.

Overslagkosten	Wijziging overslagkosten	Totale kosten	Verandering optimale oplossing?
8	-0	8735	Beginsituatie
7	-1	8611	Ja
6	-2	8403	Nee
5	-3	8195	Nee
4	-4	7987	Nee

Tabel 30: Sensitiviteitsanalyse overslagkosten wanneer kosten afnemen

Uit deze sensitiviteitsanalyse van de overslagkosten kan besloten worden dat de overslagkost per ladingseenheid een gevoelige parameter is. De huidige optimale oplossing blijft enkel onveranderd wanneer de variabele overslagkost binnen het interval [7,32; 10,59] ligt. Dit betekent dat deze variabele overslagkost slechts met 0,68 euro hoeft te dalen om een verandering in de optimale oplossing teweeg te brengen. De optimale oplossing is iets minder gevoelig voor een stijging van de variabele overslagkost. Bij een stijging van 2,59 euro zal de optimale oplossing wijzigen.

7.4.2 Sensitiviteit van de vaste meerkost van verbindingen (1,2) en (2,1)

Voor de verbindingen (1,2) en (2,1) is initieel uitgegaan van een vaste meerkost van 100 euro die de overheadkosten van samenwerking in rekening brengt. Deze overheadkosten zijn de kosten die veroorzaakt worden door het additioneel aanmeren en de vereiste bijkomende overslag bij samenwerking. In werkelijkheid is het mogelijk dat deze kosten aanzienlijk afwijken. Verondersteld wordt dat een meerkost van 100 euro per verbinding een goede schatting is van de werkelijke meerkost. Voor de sensitiviteitsanalyse wordt uitgegaan dat afwijkingen aannemelijk zijn binnen een interval van 0 euro tot 400 euro. In tabel 31 en tabel 32 worden de resultaten van de sensitiviteitsanalyse weergegeven. De meerkost varieert in stappen van 50 euro voor kostenstijgingen en stappen van 25 euro voor kostendalingen. Omdat verbinding (1,2) en verbinding (2,1) enkel verschillen met betrekking tot de oriëntatie van de goederenstroom, worden de kosten van beide verbindingen gelijktijdig gewijzigd.

Meerkost	Wijziging meerkost	Totale kosten	Verandering optimale oplossing?
100	+0	8735	Beginsituatie
150	+50	8785	Nee
200	+100	8835	Nee
250	+150	8885	Nee
300	+200	8935	Nee
350	+250	8955	Ja
400	+300	8955	Nee

Tabel 31: Sensitiviteitsanalyse meerkost verbindingen (1,2) en (2,1) wanneer de kosten toenemen

Uit tabel 31 blijkt dat de bovengrens van de vaste meerkost van verbindingen (1,2) en (2,1) zich in het interval [300, 350] bevindt. De exacte waarde van deze meerkost is gelijk aan 320 euro, wat overeenkomt met een toename van 220 euro. Bij een vaste meerkost van 320 euro verandert de optimale oplossing en worden andere paden in het netwerk opgenomen. Hierna wordt het voordeliger om het goederenvervoer naar en vanuit het havengebied afzonderlijk van elkaar te organiseren. Een verdere toename van deze vaste meerkosten zal geen effect meer uitoefenen aangezien de verbindingen (1,2) en (2,1) uit de nieuwe optimale oplossing verdwenen zijn.

Meerkost	Wijziging meerkost	Totale kosten	Verandering optimale oplossing?
100	-0	8735	Beginsituatie
75	-25	8710	Nee
50	-50	8685	Nee
25	-75	8660	Nee
0	-100	8619	Ja

Tabel 32: Sensitiviteitsanalyse meerkost verbindingen (1,2) en (2,1) wanneer de kosten afnemen

De vaste meerkost kan in werkelijkheid tevens lager liggen dan de vooropgestelde 100 euro. Uit tabel 32 blijkt dat de ondergrens van de vaste meerkost van verbindingen (1,2) en (2,1) in het interval [0, 25] ligt. De exacte waarde van deze meerkost is gelijk aan 16 euro, wat overeenkomt met een daling van 84 euro. Slechts wanneer de vaste meerkosten deze ondergrens van 16 euro overschrijden, zal de optimale oplossing veranderen. Hieronder wordt het voordeliger om zowel het goederenvervoer naar als vanuit het havengebied gezamenlijk te organiseren.

Uit deze sensitiviteitsanalyse van de vaste meerkost van verbindingen (1,2) en (2,1) kan besloten worden dat deze vaste meerkost een relatief gevoelige parameter is. De huidige optimale oplossing blijft onveranderd wanneer de vaste meerkosten binnen het interval [16, 320] euro liggen. Dit betekent dat deze vaste meerkosten iets mogen variëren vooraleer een verandering in de optimale oplossing teweeggebracht wordt.

7.4.3 Sensitiviteit van de vaste kosten van de havenverbindingen

Voor de verbindingen (3,4) en (4,3) gaat het netwerkmodel uit van een vaste kost van 400 euro. Deze kosten verantwoorden de kosten die veroorzaakt worden door tijdsverlies dat plaatsvindt binnen het havengebied. In werkelijkheid is het mogelijk dat deze kosten verschillend zijn van deze vooropgestelde 400 euro. Er wordt verondersteld dat 400 euro per verbinding een goede schatting is van de werkelijke kosten en dat afwijkingen maximaal 100% bedragen. Dit komt overeen met een interval van 0 euro tot 800 euro voor deze verbindingen. In tabel 33 en tabel 34 worden de resultaten van de sensitiviteitsanalyse weergegeven. De vaste kosten variëren telkens in stappen van 50 euro. Omdat verbindingen (3,4) en (4,3) enkel verschillen met betrekking tot de oriëntatie van de goederenstroom, worden de kosten van beide verbindingen gelijktijdig gewijzigd.

Vaste kosten (3,4) en (4,3)	Wijziging vaste kosten	Totale kosten	Verandering optimale oplossing?
400	+0	8735	Beginsituatie
450	+50	8785	Nee
500	+100	8835	Nee
550	+150	8885	Nee
600	+200	8935	Nee
650	+250	8985	Nee
700	+300	9035	Nee
750	+350	9085	Nee
800	+400	9135	Nee
2084	+1684	10.419	Ja

Tabel 33: Sensitiviteitsanalyse vaste kosten verbindingen (3,4) en (4,3) wanneer de kosten toenemen

Uit tabel 33 en tabel 34 blijkt dat de optimale oplossing robuust is voor veranderingen in de vaste kosten van verbindingen (3,4) en (4,3). Zelfs wanneer de vaste kosten met 100% veranderen, blijft de optimale oplossing hetzelfde. Het is mogelijk om de exacte bovengrens van deze parameter te berekenen. Meer bepaald ligt de waarde van deze bovengrens op 2.084 euro,

wat overeenkomt met een stijging van 1.684 euro. Een vaste kost van 1.684 euro per havenverbinding wordt echter niet realistisch bevonden.

Vaste kosten (3,4) en (4,3)	Wijziging vaste kosten	Totale kosten	Verandering optimale oplossing?
400	-0	8735	Beginsituatie
350	-50	8685	Nee
300	-100	8635	Nee
250	-150	8585	Nee
200	-200	8535	Nee
150	-250	8485	Nee
100	-300	8435	Nee
50	-350	8385	Nee
0	-400	8335	Nee

Tabel 34: Sensitiviteitsanalyse vaste kosten verbindingen (3,4) en (4,3) wanneer de kosten afnemen

7.4.4 Sensitiviteit van de meerkost van de verbindingen die het zelfstandig vervoer van terminal 1 weergeven

Voor de verbindingen die het zelfstandig vervoer van terminal 1 voorstellen, wordt uitgegaan van een meerkost van 200 euro ten opzichte van de verbindingen die het zelfstandig vervoer van terminal 2 uitbeelden. Deze meerkost wordt in rekening gebracht omdat de relatieve afstand en bijgevolg ook de benodigde tijd tussen terminal 1 en het havengebied hoger ligt dan voor terminal 2. Aangezien deze meerkost een veronderstelling is, kan deze in werkelijkheid afwijken. Als uitgangspunt geldt dat 200 euro een goed gemiddelde is van deze meerkost en dat afwijkingen maximaal 100% bedragen. Dit stemt overeen met een interval van 0 euro tot 400 euro voor de verbindingen (1,3), (1,4), (3,1), (4,1) en deels voor verbindingen (1,2) en (2,1). Omdat deze verbindingen enkel op vlak van de richting van de goederenstroom verschillen, worden de kosten voor alle verbindingen gelijktijdig gewijzigd. De vaste kosten variëren in stappen van 50 euro. In tabel 35 en tabel 36 worden de resultaten van de sensitiviteitsanalyse weergegeven.

Uit tabel 35 en tabel 36 blijkt dat de optimale oplossing robuust is voor éénzijdige veranderingen in de meerkost van verbindingen (1,3), (1,4), (3,1), (4,1), (1,2) en (2,1). Zelfs indien deze meerkosten met 100% wijzigen, blijft de optimale oplossing hetzelfde. De reden hiervoor is dat de kosten van nagenoeg alle verbindingen proportioneel toenemen. Bijgevolg blijft de optimale oplossing dezelfde.

Meerkost	Wijziging meerkost	Totale kosten	Verandering optimale oplossing?
200	+0	8735,333	Beginsituatie
250	+50	8835,333	Nee
300	+100	8935,333	Nee
350	+150	9035,333	Nee
400	+200	9135,333	Nee

Tabel 35: Sensitiviteitsanalyse meerkost verbindingen (1,3), (1,4), (3,1), (4,1), (1,2) en (2,1) wanneer de kosten toenemen

Meerkost	Wijziging meerkost	Totale kosten	Verandering optimale oplossing?
200	-0	8735,333	Beginsituatie
150	-50	8635,333	Nee
100	-100	8535,333	Nee
50	-150	8435,333	Nee
0	-200	8335,333	Nee

Tabel 36: Sensitiviteitsanalyse meerkost verbindingen (1,3), (1,4), (3,1), (4,1), (1,2) en (2,1) wanneer de kosten afnemen

Voor de overige vaste en variabele kosten wordt geen sensitiviteitsanalyse uitgevoerd aangezien deze kosten afgeleid zijn van de trapsgewijze totale kostenfunctie, die gebaseerd is op een bevraging. We gaan ervan uit dat deze trapsgewijze totale kostenfunctie de werkelijkheid zo goed mogelijk benadert. Tevens zou een wijziging van één waarde leiden tot een wijziging van de andere parameters.

7.4.5 Gezamenlijke parameterwijzigingen

Het is niet voldoende om één parameter per keer te laten wijzigen, maar gezamenlijke effecten dienen eveneens overwogen te worden. Uit voorgaande sensitiviteitsanalyses is gebleken dat vooral de variabele bundelingskosten en de vaste overheadkosten van verbinding (1,2) en (2,1) een effect uitoefenen op de optimale oplossing. Daarom wordt in deze paragraaf enkel het effect van simultane wijzigingen van deze twee parameters beschouwd. Deze simultane wijzigingen worden weergegeven in tabel 37 en tabel 38. In deze tabellen wordt aangeduid voor welke combinaties van de parameters de optimale oplossing of één van de alternatieven uit paragraaf 7.3 van toepassing is.

	Vaste kosten meerkost bundelingsverbinding				
		0	16	50	100
Variabele Overslag- kosten	10,89	Alt. 4	Alt. 4	Alt. 4	Alt. 4
	11,89	Alt. 4	Alt. 4	Alt. 4	Alt. 4
	12,89	Alt. 4	Alt. 4	Alt. 4	Alt. 4
	13,89	Alt. 4	Alt. 4	Alt. 4	Alt. 4
	14,21	Alt. 4	Alt. 4	Alt. 4	Alt. 4
	14,89	Alt. 4	Opt. Opl	Opt. Opl	Opt. Opl
	15,89	Opt. Opl.	Opt. Opl	Opt. Opl	Opt. Opl
	16,89	Opt. Opl.	Opt. Opl	Opt. Opl	Opt. Opl
	17,47	Opt. Opl.	Opt. Opl	Opt. Opl	Opt. Opl
	17,89	Opt. Opl.	Opt. Opl	Opt. Opl	Alt. 2
	18,89	Alt. 2	Alt. 2	Alt. 2	Alt. 2

Tabel 37: Sensitiviteitsanalyse naar de gezamenlijke invloed van de variabele bundelingskosten en de vaste bundelingskosten – deel 1

	Vaste kosten meerkost bundelingsverbinding								
	(0,0)	100	150	200	250	300	320	350	400
Variabele Overslag- kosten	10,8911	Alt. 4	Alt. 4	Alt. 4	Alt. 4	Alt. 4	Alt. 4	Alt. 4	Alt. 4
	11,8911	Alt. 4	Alt. 4	Alt. 4	Alt. 4	Alt. 4	Alt. 4	Alt. 4	Alt. 4
	12,8911	Alt. 4	Alt. 4	Alt. 4	Alt. 4	Opt. Opl	Opt. Opl	Opt. Opl	Opt. Opl
	13,8911	Alt. 4	Opt. Opl	Opt. Opl	Opt. Opl	Opt. Opl	Opt. Opl	Opt. Opl	Opt. Opl
	14,2082	Alt. 4	Opt. Opl	Opt. Opl	Opt. Opl	Opt. Opl	Opt. Opl	Opt. Opl	Alt. 2
	14,8911	Opt. Opl	Opt. Opl	Opt. Opl	Opt. Opl	Opt. Opl	Alt. 2	Alt. 2	Alt. 2
	15,8911	Opt. Opl	Opt. Opl	Opt. Opl	Alt. 2	Alt. 2	Alt. 2	Alt. 2	Alt. 2
	16,8911	Opt. Opl	Alt. 2	Alt. 2	Alt. 2	Alt. 2	Alt. 2	Alt. 2	Alt. 2
	17,4793	Opt. Opl	Alt. 2	Alt. 2	Alt. 2	Alt. 2	Alt. 2	Alt. 2	Alt. 2
	17,8911	Alt. 2	Alt. 2	Alt. 2	Alt. 2	Alt. 2	Alt. 2	Alt. 2	Alt. 2
	18,8911	Alt. 2	Alt. 2	Alt. 2	Alt. 2	Alt. 2	Alt. 2	Alt. 2	Alt. 2

Tabel 38: Sensitiviteitsanalyse naar de gezamenlijke invloed van de variabele bundelingskosten en de vaste bundelingskosten – deel 2

Het is mogelijk om vier verschillende combinaties te onderscheiden. Allereerst kan het zijn dat zowel de variabele bundelingskosten als de vaste overheadkosten van verbinding (1,2) en (2,1) overschat worden en in werkelijkheid naar onder afwijken. In tabel 37 wordt het effect van deze

simultane wijzigingen weergegeven. Hieruit kan afgeleid worden dat wanneer de kosten van beide parameters naar onder afwijken, een gezamenlijke organisatie van het goederenvervoer naar en vanuit het havengebied voordeliger wordt. Dit komt overeen met het netwerk uit voorgaand alternatief 4.

Ten tweede is het mogelijk dat zowel de variabele bundelingskosten als de vaste overheadkosten van verbinding (1,2) en (2,1) onderschat worden en deze kosten in werkelijkheid hoger liggen. In tabel 38 wordt het effect van deze simultane wijzigingen weergegeven. Hieruit blijkt dat de optimale oplossing zal wijzigen en dat een afzonderlijke organisatie van het goederenvervoer naar en vanuit het havengebied voordeliger wordt. Dit komt overeen met het netwerk uit voorgaand alternatief 2.

Vervolgens kunnen de twee parameters in verschillende richtingen afwijken. Zo is het mogelijk dat de variabele overslagkosten overschat worden en dat de vaste bundelingskosten onderschat worden. In dit geval wijken de werkelijke variabele overslagkosten naar onder af terwijl de werkelijke vaste bundelingskosten naar boven afwijken. Het effect van deze simultane wijzigingen wordt in tabel 38 weergegeven. Hieruit blijkt de wijziging van de optimale oplossing afhankelijk is van de absolute verhouding van de parameterwijzigingen.

Ten slotte is het mogelijk dat de variabele overslagkosten onderschat worden terwijl de vaste bundelingskosten overschat worden. De werkelijke variabele kosten wijken naar boven af terwijl de werkelijke vaste bundelingskosten naar onder afwijken. Het effect van deze tegengestelde simultane afwijkingen wordt in tabel 37 weergegeven. Hieruit blijkt dat slechts wanneer de variabele overslagkosten de grens van 18, 89 bereiken, de optimale oplossing zal wijzigen. Dit betekent dat de stijging in variabele overslagkosten grotendeels gecompenseerd wordt door de daling van de vaste meerkost van de bundelingsverbinding.

Om een idee te geven van de invloed van een simultane wijziging van de parameters op de totale kosten, wordt in bijlage 8 een tabel gegeven met combinaties van de twee parameters en de bijbehorende totale kosten.

7.5 Besluit van de praktijkstudie

Uit de praktijkstudie kunnen een aantal algemene conclusies getrokken worden:

- Uit de berekeningen van de vier verschillende alternatieven blijkt enerzijds dat het ontwikkelde kostenmodel conform is aan de realiteit. Dit betekent dat, voor de vier alternatieven, de conclusies uit het kostenmodel overeenstemmen met de conclusies uit

de (werkelijke) trapsgewijze totale kostenfunctie. Anderzijds komt naar voren dat samenwerking de totale kostenefficiëntie van partners positief beïnvloedt in onze hypothetische praktijksituatie. Ten slotte wordt uit de kostenrekening duidelijk dat een verbeterde globale kostenefficiëntie niet noodzakelijk betekent dat beide terminals baat hebben bij een samenwerking. Dit toont aan dat duidelijke afspraken over de verdeling noodzakelijk zijn om een samenwerkingsverband in stand te kunnen houden.

- Uit de kostenrekening blijkt dat het kostenmodel nog niet helemaal volmaakt is. Meer bepaald dient de formulering van het kostenmodel aangepast te worden en een onderscheid te maken tussen de verschillende verbindingen. Momenteel worden de beslissingsvariabelen van deze verbindingen tot een binaire waarde beperkt. Op deze manier voorkomen ze dat een bepaalde verbinding meerdere keren opgenomen wordt in het netwerk. Voor het merendeel van de verbindingen is dit een juiste weergave van de werkelijkheid. Voor andere verbindingen daarentegen wordt opgemerkt dat een niet-binaire waarde eveneens mogelijk is. Dit geldt bijvoorbeeld voor de havenverbindingen (3,4) en (4,3). Uit alternatief 2 blijkt namelijk dat deze verbinding door beide terminals afzonderlijk gebruikt kan worden. In dit geval zou de vaste kost van de havenverbinding meermaals aangerekend moeten worden. Enkel indien slechts één terminal of indien de terminals gezamenlijk gebruik maken van deze havenverbinding dient een binaire waarde aangenomen te worden. De redenering voor de bundelingsverbindingen (1,2) en (2,1) is gelijkaardig.
- Uit de sensitiviteitsanalyse blijkt dat de overslagkosten een belangrijke kostenfactor zijn en in hoge mate bepalen of al dan niet samengewerkt wordt. De huidige optimale oplossing is erg gevoelig voor eventuele wijzigingen in deze parameter. Dit betekent dat kleine efficiëntieverbeteringen in de overslagapparatuur ertoe kunnen leiden dat terminals zullen samenwerken in plaats van het vervoer afzonderlijk te organiseren. Tevens is het omgekeerde waar, indien de overslagkosten in werkelijkheid een stuk hoger liggen of toenemen, zal samenwerking onwaarschijnlijk zijn.

Hoofdstuk 8: Eindconclusie

In hoofdstuk één werd de probleemstelling weergegeven evenals de centrale onderzoeksvraag geformuleerd. Doorheen de eindverhandeling werd getracht een antwoord te construeren op deze centrale onderzoeksvraag aan de hand van een aantal deelvragen. In dit laatste hoofdstuk wordt een algemene conclusie gevormd uit het gevoerde onderzoek. Tegelijkertijd worden een aantal aanbevelingen gedaan voor verder onderzoek.

8.1 Conclusie van deze studie

In de literatuurstudie wordt onderzocht welke samenwerkingsverbanden mogelijk zijn tussen de verschillende actoren binnen de intermodale keten. Hierin wordt een onderscheid gemaakt tussen enerzijds verticale samenwerkingsverbanden en anderzijds horizontale samenwerkingsverbanden.

In de literatuur komt naar voren dat verticale samenwerkingsverbanden tussen de opeenvolgende actoren onontbeerlijk zijn opdat een naadloze intermodale transportketen ontstaat. Binnen de verticale samenwerkingsverbanden blijkt dat vooral het achterlandvervoer de laatste jaren een verhoogde aandacht geniet. Doch een verdere optimalisering van de achterlandverbindingen is noodzakelijk opdat havens hun concurrerend vermogen behouden. Teneinde een goede doorstroom van goederen naar het achterland te garanderen dienen havenbesturen een actieve houding aan te nemen wat het uitbouwen van het achterlandnetwerk betreft. Tevens is in het achterland een belangrijke functie weggelegd voor de inland terminals. Zij dienen havengebieden te ontlasten van mogelijke congestie door een frequente dienstverlening tussen de terminals en het havengebied te organiseren. Hiernaast wordt de aandacht gevestigd op het gebruik van telecommunicatie- en informaticatoepassingen binnen het intermodaal vervoer. Deze telematicatoepassingen bevorderen de informatie-uitwisseling en communicatie tussen opeenvolgende partijen en kunnen aldus tot een betere samenwerking leiden.

Daarenboven zijn tevens 'horizontale intermodale samenwerkingsverbanden' belangrijk. Deze vorm van samenwerking kan een verbetering van de kostenefficiëntie en de kwaliteit van intermodale vervoersdiensten teweeg brengen. Er kan vastgesteld worden dat verschillende opportuniteiten aanwezig zijn op het gebied van horizontale samenwerkingsverbanden. Ten eerste dienen zich mogelijkheden aan voor havens om meer samen te werken. Ten tweede schuilt er potentieel in een toekomstige samenwerking tussen de spoor/weg operatoren en de binnenvaartterminals die op deze wijze hun gezamenlijke netwerk kunnen uitbreiden. Ten derde

trachten ook steeds meer verladers hun goederenstromen te bundelen. Op deze wijze kunnen zij hun kostenefficiëntie verbeteren en hebben zij de mogelijkheid om naar meer duurzame vervoersmodi over te stappen. In de literatuurstudie wordt echter het accent geplaatst op onderlinge samenwerking tussen terminals. Door het creëren van een terminalnetwerk en het bundelen van goederenstromen wordt het mogelijk om schaalvoordelen te verkrijgen en kan een frequentere dienstverlening aangeboden worden. Wat de intermodale terminalnetwerken betreft, blijkt dat de evolutie die plaatsvindt in het intermodaal spoorvervoer tegengesteld is aan deze die plaatsvindt in de intermodale binnenvaart. Klassieke spoornetwerken worden sterk vereenvoudigd. Meer bepaald wordt overgegaan van intermodale hub-and-spoke netwerken naar rechtstreekse of zogenoemde gateway verbindingen. De binnenvaart daarentegen maakt tot op heden vooral gebruik van rechtstreekse pendeldiensten tussen de binnenvaartterminals en het havengebied. Uit geraadpleegde literatuur blijkt evenwel dat potentieel aanwezig is voor het opzetten van een terminalnetwerk. Over de manier waarop de goederenstromen samengevoegd dienen te worden en de onderliggende netwerkstructuur is evenwel onenigheid binnen de literatuur.

In het praktijkgedeelte van de eindverhandeling wordt op basis van de PMCND-formulering een model geconceptualiseerd dat het mogelijk maakt om na te gaan of het in een specifieke situatie optimaal is om samen te werken of eerder het vervoer zelfstandig te organiseren. Meer specifiek wordt dit optimalisatiemodel geformuleerd voor een netwerk van twee haventerminals en twee inland terminals. Om de correctheid van het kostenmodel te verifiëren, wordt een kostencalculatie en een sensitiviteitsanalyse uitgevoerd.

De kostencalculatie wordt uitgevoerd voor vier logische alternatieven teneinde de meerwaarde van het optimalisatiemodel na te gaan. Aan de hand van deze berekeningen blijkt dat het ontwikkelde kostenmodel conform is aan de realiteit. Concreet betekent dit dat de resultaten volgens het kostenmodel overeenkomen met de resultaten volgens de werkelijke totale kostenfunctie. Uit deze kostencalculatie voor onze hypothetische situatie komt naar voren dat een samenwerkingsverband een gunstige invloed heeft op de totale kostenefficiëntie van de inland terminals. Ten slotte wordt uit de kostencalculatie duidelijk dat een verbeterde globale kostenefficiëntie niet noodzakelijk betekent dat beide terminals baat hebben bij een samenwerking. Dit toont aan dat duidelijke afspraken omtrent de verdeling van de kosten en de baten noodzakelijk zijn om een samenwerkingsverband in stand te kunnen houden.

Middels de optimaliseringssoftware LINGO wordt de optimale oplossing berekend voor de hypothetische praktijksituatie. Deze optimale oplossing toont aan dat de binnenvaartterminals best het vervoer naar het havengebied zelfstandig organiseren en de terugvaart gezamenlijk inrichten. Een discrepantie tussen de import- en exporthoeveelheden verantwoorden deze optimale oplossing.

In een sensitiviteitsanalyse ten slotte, wordt nagegaan hoe gevoelig de optimale oplossing is voor wijzigingen in de gebruikte parameters. Uit deze sensitiviteitsanalyse blijkt dat de overslagkosten in hoge mate bepalen of al dan niet samengewerkt wordt. Slechts kleine efficiëntieverbeteringen in de overslagapparatuur kunnen ertoe leiden dat zowel voor de heen- als de terugvaart samengewerkt wordt. Tevens is het omgekeerde waar, indien de werkelijke overslagkosten hoger liggen, zal samenwerking onwaarschijnlijk zijn. Dit betekent concreet dat een efficiëntere overslag een belangrijke invloed uit kan oefenen op de concurrentiepositie van het intermodaal vervoer.

8.2 Suggesties voor verder onderzoek

In het praktijkonderzoek wordt een kostenmodel geformuleerd dat voor een specifieke situatie nagaat of het optimaal is om het vervoer gezamenlijk al dan niet afzonderlijk te organiseren. Vooraleer dit kostenmodel ook daadwerkelijk toegepast wordt in de bedrijfswereld, wordt aangeraden een aantal verfijningen uit te voeren.

Eerst en vooral wordt aangeraden om het kostenmodel op te bouwen aan de hand van de werkelijke trapsgewijze totale kostenfunctie in plaats van de lineaire benadering. Zodanig wordt een mogelijke over- of onderschatting van de kosten vermeden en wordt meer zekerheid verworven over de eventuele kostenvoordelen van samenwerking.

Vervolgens zou het model de werkelijkheid beter weergeven indien een onderscheid gemaakt zou worden tussen de verschillende verbindingen. Meer bepaald dienen de havenverbindingen en de bundelingsverbindingen onderscheiden te worden van de verbindingen die een zelfstandige organisatie van het vervoer weergeven. Op deze wijze wordt het mogelijk de vaste kosten meermaals aan te rekenen voor deze verbindingen, wat een betere benadering geeft van de realiteit.

In het praktijkonderzoek werd uitgegaan van een hypothetische situatie om de geldigheid van het kostenmodel na te gaan. De kosten en het netwerkvolume van deze hypothetische situatie zijn grotendeels gebaseerd op werkelijke cijfers. Doch het wordt aangeraden het kostenmodel toe te passen op een bestaand terminalnetwerk met werkelijke kostengegevens.

Tot slot is het model ontworpen voor een hypothetisch netwerk waarin slechts twee binnenvaartterminals en twee haventerminals betrokken zijn. In de realiteit kan een samenwerkingsverband echter voorkomen tussen meer terminals. Het zou bijgevolg interessant zijn om het ontworpen kostenmodel toe te passen op grotere schaal.

Referenties

Artikels, boeken en papers:

Ahuja, R.K., Magnanti, T.L. and Orlin, J.B. (1993) *Network flows: theory, algorithms, and applications*, Englewood Cliffs, Prentice Hall.

Bengtsson, M. and Kock, S. (2000) 'Coopetition in business networks: to cooperate and compete simultaneously', *Industrial Marketing Management*, 29:5, 411-426.

Beuthe, M. (2007) 'Intermodal freight transport in Europe' in Leinbach, T.R. and Capineri, C. (eds), *Globalised freight transport: intermodality, e-commerce, logistics and sustainability*, Cheltenham, Elgar, 54-89.

Blauwens, G. en Witlox F. (2002) *Multimodaal vervoer - Zoektocht naar synergie tussen de modi?*, Antwerpen, Garant.

Bontekoning, Y.M. and Priemus, H. (2004) 'Breakthrough innovations in intermodal freight transport', *Transportation planning and Technology*, 27:5, 335-345.

Bontekoning, Y.M., Macharis, C. and Trip, J.J. (2004) 'Is a new applied transportation research field emerging? A review of intermodal rail-truck freight transport literature', *Transportation Research Part A*, 38: 1, 1-34.

Chase, R.B., Aquilano, N.J. and Jacobs, R.F. (2006) *Operations management for Competitive Advantage with Global Cases* (11^e ed.), Boston, McGraw Hill.

Chen, I.J. and Paulraj, A. (2004) 'Understanding supply chain management: critical research and a theoretical framework', *International Journal of Production Research*, 42:1, 131-163.

Crainic, T.G. (2000) 'Service network design in freight transportation', *European Journal of Operational Research*, 122:2, 272-288.

Crainic, T.G. and Gendreau, M. (2002) 'Cooperative parallel tabu search for capacitated network design', *Journal of Heuristics*, 8:6, 601-627.

Crainic, T.G. and Laporte, G. (1997) 'Planning models for freight transportation', *European Journal of Operational Research*, 97:3, 409-438.

Crujssen, F., Cools, M. and Dullaert, W. (2005) 'Drivers and impediments for horizontal cooperation in logistics' in Witlox, F., Dullaert, W. and Vernimmen, B. (eds.), *Proceedings of the BIVEC-GIBET Transport Research Day 2005: Part I*, Hasselt, Universiteit Hasselt, 195-214.

Crujssen, F., Dullaert, W. and Fleuren, H. (2007) 'Horizontal Cooperation in Transport and Logistics: A Literature Review', *Transportation Journal*, 46:3, 22-39.

Dall'Orto, L.C., Crainic, T.G., Leal, J.E. and Powell, W.B. (2006) 'The single-node dynamic service scheduling and dispatching problem', *European Journal of Operations Research*, 170:1, 1-23.

Das, T.K and Teng, B.S. (1998) 'Between trust and control: developing confidence in partner cooperation in alliances', *Academy of Management Review*, 23:3, 491-512.

Deschoolmeester, D., Braet, O. and Willaert P. (2004) 'On a balanced methodology to evaluate a portfolio of ICT investments', paper presented at the 11th European Conference on Information Technology Evaluation 11-12 November, Amsterdam.

Doz, Y.L. and Hamel, G. (1998) *Alliance advantage: the art of creating value through partnering*, Boston, Harvard Business School Press.

Dullaert, W., Vandaele, E., Vernimmen, B. and Witlox, F. (2004) *Multimodaal vervoer*, Presentatie startvergadering Tetra-project Multimodaal Transport, Antwerpen, Institute of Transport and Maritime Management Antwerp.

Dyer, J. and Singh, H. (1998) 'The relational view: cooperative strategy and sources of interorganizational competitive advantage', *Academy of Management Review*, 23:4, 660-679.

Ensign, P.C. (1998) 'Interrelationships and horizontal strategy to achieve synergy and competitive advantage in the diversified firm', *Management Decision*, 36:10, 657-668.

Ergun, Ö., Kuyzu, G. and Savelsbergh, H. (2007) 'Shipper collaboration', *Computers & Operations Research*, 34:6, 1551-1560.

Eurolink Amsterdam (2003) 'Modal shift van concurrenten naar partners', *Euromagazine*, 18.

Europese Commissie (2001) *Witboek. Het Europese vervoersbeleid tot het jaar 2010: tijd om te kiezen*, Luxemburg, COM.

Europese Commissie (2006a) *Communication from the Commission to the council and the European Parliament – Mid-term review of the European Commission's 2001 Transport White Paper*, Brussels, COM.

Europese Commissie (2006b) *Commission staff working document – Communication from the Commission on the promotion of inland waterway transport "NAIADES"*, Brussels, SEC.

Europese Commissie (2007) *Energy and Transport in figures 2007 Part 3: Transport*, Brussel, Directorate-General for Energy and Transport.

Ghamlouche, I., Crainic, T.L and Gendreau, M. (2004) 'Path relinking, cycle-based neighbourhoods and capacitated multicommodity network design', *Annals of Operations Research*, 131:1, 109-133.

Groothedde, B., Ruijgrok, C. and Tavassy, L. (2005) 'Towards collaborative, intermodal hub networks: A case study in the fast moving consumer goods market', *Transportation Research Part E*, 41:6, 567-583.

Henstra, D., Ruijgrok, C. and Tavasszy, L. (2007) 'Globalized trade, logistics and intermodality: European perspectives' in Leinbach, T.R. and Capineri, C. (eds.), *Globalised freight transport: intermodality, e-commerce, logistics and sustainability*, Cheltenham, Elgar, 135-163.

Herrebosch, M. (2006-2007) *Een gemeenschappelijk zeehavenbeleid voor Antwerpen en Rotterdam: opportuniteit of kannibalisme?*, eindverhandeling Master in Maritieme Wetenschappen, Faculteit Toegepaste Economische Wetenschappen, Antwerpen, Universiteit Antwerpen.

Hillier, F.S. and Lieberman, G.J. (2005) *Introduction to operations research: international edition* (8th edn), Boston, McGraw-Hill.

Incodelta Zuid-Nederland (2005) *Eindrapport project 'SIKZNEB'*, Tilburg, Incodelta Zuid-Nederland.

Jansen, B., Swinkels, P.C.J., Teeuwen, G.J.A., van Antwerpen de Fluiter, B. and Fleuren, H.A. (2004) 'Operational planning of a large-scale multi-modal transportation system', *European Journal of Operational Research*, 156:1, 41-53.

Jaržemskienė, I. (2007) 'The evolution of intermodal transport research and its development issues', *Transport*, 12:4, 296-306.

Kim, D. and Barnhart, C. (1999) 'Multimodal Express Package Delivery: A Service Network Design Application', *Transportation Science*, 33:4, 391-407.

Knut, A. (2002) 'Modeling and optimization of the intermodal terminal Mega Hub', *OR Spectrum*, 24:1, 1-18.

Konings, R. (2003) 'Network design for intermodal barge transport', *Transportation Research Record*, 1820, 1-27.

Konings, R. (2006) 'Hub-and-spoke networks in container-on-barge transport', *Transportation Research Record*, 1963, 23-32.

Konings, R. (2007) 'Opportunities to improve container barge handling in the port of Rotterdam from a transport network perspective', *Journal of Transport Geography*, 15:6, 443-454.

Konings, R., Bontekoning, Y. and Maat, K. (2006) 'De concurrentiekracht van intermodaal vervoer in ruimtelijk perspectief: intermodaal op welke schaal?' in Despontin, M. en Macharis, C. (eds), *Mobiliteit en (groot)stedenbeleid: bijdragen tot het 27ste Vlaams Wetenschappelijk Economisch Congres 19-20 oktober 2006*, Brussel, VUB Press, 181-205.

Kreutzberger, E.D. (2001) 'De omvang van intermodale ladingsstromen als factor voor de keuze van bundelingsconcept' in Rodenburg, R.H.J. en Ruijgrok, C.J. (eds), *Bijdragen Vervoerslogistieke Werkdagen 2001*, Corsendonk, Connekt, 25-34.

Kreutzberger, E.D. (2003) 'Transport scale and quality of intermodal freight bundling networks. (Re)designing networks in theory and practice' in Dullaert, W., Jourquin, B. and Polak, J.B (eds), *Across the border: building upon a quarter century of transport research in the Benelux*, Antwerpen, De Boeck, 43-68.

Kreutzberger, E.D. (2005) 'Hub and spoking in a process of changing bundling concepts of intermodal rail networks: current developments in the light of intermodal efficiency' in Witlox, F., Dullaert, W. and Vernimmen, B. (eds), *Proceedings of the BIVOC-GIBET Transport Research Day 2005 - Part II*, Hasselt, Universiteit Hasselt, 405-433.

Lane, C. and Backmann, R. (1998) *Trust within and between organizations*, Oxford University Press.

Lowe, D. (2005) *Intermodal freight transport*, Amsterdam, Elsevier.

Macharis, C. (2004) 'Coöperatie of concurrentie? De intermodale transportketen nader bekeken' in Blauwens, G., D'Haens, P. en Van Breedam, A. (eds.), *Logistiek: laatste front in de concurrentieslag*, Antwerpen, Garant, 25-41.

Macharis, C. and Bontekoning, Y.M. (2004) 'Opportunities for OR in intermodal freight transport research: A review, *European Journal of Operational Research*, 153:2, 400-416.

Macharis, C. en Verbeke, A. (1999) *Intermodaal vervoer - Economische en strategische aspecten van het intermodaal vervoer in Vlaanderen*, Leuven-Apeldoorn, Garant.

Macharis, C. en Verbeke, A. (2001) 'Het intermodale transportsysteem vergeleken met het unimodale wegvervoer', *Tijdschrift voor Economie en Management*, Vol. XLVI: 1, 39-62.

Macharis, C. en Verbeke, A. (2004) *Intermodaal binnenvaartvervoer - Economische en strategische aspecten van het intermodaal binnenvaartvervoer in Vlaanderen*, Antwerpen-Apeldoorn, Garant.

Magnanti, T.L and Wong, R.T (1984) 'Network design and transportation planning: models and algorithms', *Transportation Science*, 18:1, 1-55.

Martens, A. (2002) 'De strategie van de NMBS voor het intermodaal vervoer' in Blauwens, G. en Witlox, F. (eds.), *Multimodaal vervoer: zoektocht naar synergie tussen de modi?*, Leuven, Garant, 93-98.

Minoux, M. (1986) 'Network synthesis and optimum network design problems: Models solution methods and applications', *Networks*, 19, 313-360.

Misschaert, M., Vannieuwenhuysse, B. en Van Breedam, A. (2005) *Achterlandverbindingen: multimodale schakel tussen verladere en de Vlaamse havens*, Antwerpen, Vlaams Instituut voor de Logistiek.

Mistiaen, P. (2005) *Working paper: Hervorming van de spoorwegsector in België. Lessen uit Groot-Brittannië, Duitsland en Zweden*, Brussel, Federaal Planbureau.

Notteboom, T. (2004) 'De haven als onderdeel van de logistieke keten: quo vadis?' in Blauwens, G., D'Haens, P. en Van Breedam, A. (eds.), *Logistiek: laatste front in de concurrentieslag*, Antwerpen, Garant, 147-177.

Notteboom, T. and Konings, R. (2004) 'Network dynamics in container transport by barge', *Belgeo: Belgisch tijdschrift voor geografie*, 5:4, 461-477.

Notteboom, T. and Rodrigue, J.P. (2005) 'Port regionalization: towards a new phase in port development', *Maritime policy and management*, 32:3, 297-313.

Paelinck, H.C. (2002) 'Multimodaal, intermodaal en gecombineerd vervoer: What's in a name?' in Blauwens, G. en Witlox F. (eds.), *Multimodaal vervoer: zoektocht naar synergie tussen de modi?*, Antwerpen, Garant, 19-25.

Pedersen, M.B. (2005) *Optimization models and solution methods for intermodal transportation*, PhD thesis, Centre for Traffic and Transport, Denmark, Technical University of Denmark.

Porter, M.E. (1998) *Competitive strategy: techniques for analyzing industries and competitors – with a new introduction*, New York, Free press.

Ring, P.S. and Van de Ven, A.H. (1994) 'Developmental process of cooperative interorganizational relationships', *Academy of Management Review*, 19:1, 90-118.

Rotter, H. (2004) 'New operating concepts for intermodal transport: the mega hub in Hanover/Lehrte in Germany', *Transportation Planning and Technology*, 27:5, 347-365.

Simchi-Levi, D., Kaminsky, P. and Simchi-Levi, E. (2000) *Designing and managing the supply chain: concepts, strategies, and case studies*, Boston, McGraw-Hill.

Smith, K.G., Carroll, S.J. and Ashford, S.J. (1995) 'Intra- and interorganizational cooperation: towards a research agenda', *Academy of Management Journal*, 38:1, 7-23.

Theys, C., Dullaert, W. and Notteboom, T. (2008) 'Analyzing cooperative networks in intermodal transportation: a game-theoretic approach', paper presented at the Nectar Logistics and Freight Cluster Meeting 27-28 March, Delft.

Trip, J.J. and Bontekoning, Y. (2002) 'Integration of small freight flows in the intermodal transport system', *Journal of Transport Geography*, 10:3, 221-229.

Tsamboulas, D., Vrenken, H. and Lekka, A.M. (2007) 'Assessment of a transport policy potential for intermodal mode shift on a European scale', *Transportation Research Part A: Policy & Practice*, 41:8, 715-733.

Van Breedam, A. (2005) *VIL jaarverslag 2005*, Antwerpen, Vlaams Instituut voor de Logistiek.

Van Breedam, A. (2006) *VIL jaarverslag 2006*, Antwerpen, Vlaams Instituut voor de logistiek.

Van der Ham, A., Huijsman, M., Rustenburg, M. en Verweij, K. (2006) *Handboek: Generieke procesaanpak Verladerssamenwerking*, TNO rapport 2006-D-R0904, Delft, TNO.

Van der Horst, M.R. and De Langen, P.W. (2007) *Coordination in hinterland transport chains: a major challenge for the seaport community*, Proceedings International Association for Maritime Economists July 2007, Athens, Greece.

Vannieuwenhuysse, B. (2004) 'De vervoerwijzekeuze: drijfveren, hefboomen en katalysatoren in een bedrijfseconomische context' in Blauwens, G., D'Haens, P. en Van Breedam, A. (eds.), *Logistiek: laatste front in de concurrentieslag*, Antwerpen, Garant, 231-263.

Vannieuwenhuysse, B. (2006) *Multimodaal vervoer - Presentatie Universiteit Hasselt 21/04/2006*, Antwerpen, Vlaams Instituut voor de Logistiek.

Vannieuwenhuysse, B., De Munck, L. en De Neve, B. (2007) *De inland terminal als cruciale schakel in het multimodale netwerk*, Serie 2007005, Antwerpen, Vlaams Instituut voor de Logistiek.

Vannieuwenhuysse, B., Misschaert, M. en 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.

Vernimmen, B. (2004) 'Een logistieke analyse van de modale keuze in het goederenvervoer' in Blauwens, G., D'Haens, P. en Van Breedam, A. (eds.), *Logistiek: laatste front in de concurrentieslag*, Antwerpen, Garant, 205-229.

Verstrepen, S. (2005) *Logistiek samenwerken praktisch bekeken - Handleiding en stappenplan voor samenwerking tussen logistieke dienstverleners*, Antwerpen, Vlaams Instituut voor de Logistiek.

Verstrepen, S., Cools, M., Cruijssen, F. and Dullaert, W. (2005) 'Creating and managing horizontal partnerships in logistics: empirical evidence and guidelines for implementation' in Witlox, F., Dullaert, W. and Vernimmen, B. (eds.), *Proceedings of the BIVEC-GIBET Transport Research Day 2005: Part I*, Hasselt, Universiteit Hasselt, 163-178.

Vos, B., Iding, M., Rustenburg, M. and Ruijgrok C. (2003) *SYnergievoordelen in LOGistische NETwerken (SYLONET) – deel 1*, TNO Inro rapport 033N08832001, Delft/Tilburg, TNO.

Vos, B., Oerlemans, K., Penninkhof, J.H., Iding, M.H.E., Brummelman, H.J. and Ruijgrok, C. (2002) *SYnergievoordelen in LOGistische NETwerken (SYLONET) – Resultaten van een literatuurinventarisatie*, TNO Inro rapport 023N10532001, Delft/Tilburg, TNO.

Belgian Public Planning Service Science Policy (2003) *Intermediary scientific report of the SSTC project in network: Bases of a growth of the intermodal transport in Belgium – the search of "missing links"*, Brussels, Belgian Public Planning Service Science Policy.

Wieberneit, N. (2008) 'Service network design for freight transportation: a review', *OR Spectrum*, 30:1, 77-112.

Willems, K. (2002-2003) *Multimodaal goederenvervoer en de totale logistieke kostprijs*, eindverhandeling Handelsingenieur, Faculteit Toegepaste Economische Wetenschappen, Diepenbeek, Limburgs Universiteir Centrum.

Woodburn, A.G. (2003) 'A logistical perspective on the potential for modal shift of freight from road to rail in Great Britain', *International Journal of Transport Management*, 1:4, 237-245.

Woxenius, J. (2007) 'Alternative transport network designs and their implications for intermodal transshipment technologies', *European Transport*, 35:1, 27-45.

Yoon, M.G. and Current, J. (2008) 'The hub location and network design problem with fixed and variable arc costs: formulation and dual-based solution heuristic', *Journal of the Operational Research Society*, 59:1, 80-89.

Websites:

B-Cargo (online) (Geraadpleegd op 28 februari 2008)

Beschikbaar op: URL: <<https://www.bcargo.be>>

Blomme, J., Presentatie Haven en logistiek "Samenwerking tussen de haven van Antwerpen en het achterland op het vlak van logistiek: fictie en realiteit", 26^{ste} Vlaams Wetenschappelijk Economisch Congres 26 maart 2004 (online) (Geraadpleegd op 21 maart 2008)

Beschikbaar op: URL: <http://www.vve.be/vwec2004/pdf/w7_POA.pdf>

Buck Consultants International in samenwerking met de Vrije Universiteit Brussel, Logistieke Poort Limburg – Fase I: De Logistieke kaart Limburg 2006 (online) (Geraadpleegd op 29 oktober 2007)

Beschikbaar op: URL: <<http://www.pomlimburg.be/files/CMS/fase%201%20-%20Logistieke%20kaart%20Limburg.pdf>>

Bureau Voorlichting Binnenvaart, Intermodale samenwerking (online) (Geraadpleegd op 3 maart 2008)

Beschikbaar op: URL: <<http://www.bureauvoorlichtingbinnenvaart.nl>>

De Lloyd, Artikel: Antwerpen en Limburg ondertekenen Visienota Logistiek (online) (Geraadpleegd op 18 april 2008)

Beschikbaar op: URL: <http://www.lloyd.be/nieuws/id21034-Antwerpen_en_Limburg_ondertekenen_Visienota_Logistiek.html>

Deloitte, Presentatie Efficiencyverbetering met horizontale samenwerking, congres 'Samen op Weg' 10 mei 2007 (online) (Geraadpleegd op 21 november 2007)

Beschikbaar op: URL: <<http://www.samenopweg.net/pdf/Succesfactoren%20-%20Deloitte.pdf>>

Haesaerts Intermodal (online) (Geraadpleegd op 3 april 2008)

Beschikbaar op: URL: <<http://www.haesaerts.be/index.htm>>

Inleiding in de logistiek, vakblad voor de logistieke manager, vraagbaak Inkoop & Logistiek (online) (Geraadpleegd op 26 september 2007)

Beschikbaar op: <URL: <http://www.ienl.nl/downloads/20020131112627-I12.pdf>>

Inter Ferry Boats (online) (Geraadpleegd op 9 maart 2008)

Beschikbaar op: URL: <<http://www.interferryboats.be>>

Mobiel Vlaanderen, Persmededeling van de Vlaamse Overheid: Minister Peeters richt Flanders Inland Shipping Network op (online) (Geraadpleegd op 12 maart 2008)

Beschikbaar op: URL: <<http://www.mobielvlaanderen.be/persberichten/artikel.php?id=240>>

Port of Antwerp, Port of Antwerp - The Intermodal Companion december 2005 (online) (Geraadpleegd op 24 februari 2008)

Beschikbaar op: URL: <

Port of Antwerp, Antwerp Port News oktober–november–december 2006 (online) (Geraadpleegd op 24 maart 2008)

Beschikbaar op: URL: <http://www.portofantwerp.be/html/05_PORTBROCHURES/AGHApdfNEW/05312_APN_47_NL.pdf>

Promotie binnenvaart Vlaanderen (online) (Geraadpleegd op 29 oktober 2007)

Beschikbaar op: URL: <<http://www.binnenvaart.be>>

Rabobank Corporate Clients Industry Knowledge Team, Sectorverkenning Containerbinnenvaart mei 2004 (online) (Geraadpleegd op 21 maart 2008)

Beschikbaar op: URL: <<http://www.vaart.nl/bankzaken/containerbinnenvaart.pdf>>

Rail Cargo Information (online) (Geraadpleegd op 31 oktober 2007)

Beschikbaar op: <URL: <http://www.railcargo.nl>>

Rail meets Road IV, Ontmoetingen rond mobiliteit - Naar betere achterlandverbindingen voor onze havens (online) (Geraadpleegd op 25 oktober 2007)

Beschikbaar op: <URL: <http://www.railmeetsroad.be>>

Studiedienst van de Vlaamse regering (online) (Geraadpleegd op 4 mei 2008)

Beschikbaar op: <URL: <http://aps.vlaanderen.be>>

The inland waterways departures list (online) (Geraadpleegd op 27 februari 2008)

Beschikbaar op: URL: <<http://www.containerafvaarten.be>>

TRW (online) (geraadpleegd op 9 maart)

Beschikbaar op: URL: <<http://www.trw.be>>

Vlaamse Milieumaatschappij, Milieurapport Vlaanderen, achtergronddocument 2006, transport (online) (Geraadpleegd op 29 oktober 2007)

Beschikbaar op: <URL: <http://www.milieurapport.be>>

Vlaams Instituut voor de logistiek, Persbericht distributiesamenwerking 14 februari 2008 (online) (geraadpleegd op 21 maart 2008)

Beschikbaar op: URL: <<http://www.vil.be/docs/VIL%20persartikels/VIL%20persbericht%20Distributieconsolidatie.pdf>>

Bijlagen

Inhoudsopgave bijlagen

Bijlage 1: SWOT-analyse voor de verschillende vervoersmodi

Bijlage 2: Interne en externe samenwerkingsmotieven

Bijlage 3: Grondvormen van logistieke samenwerking

Bijlage 4: Evolutie van het terminallandschap in België

Bijlage 5: Netwerken waarin IFB, TRW en ICF betrokken zijn

Bijlage 6: Verklaring parameters MCND- en PMCND-formulering

Bijlage 7: LINGO model praktijktoepassing

Bijlage 8: Kosten sensitiviteitsanalyse simultane wijzigingen

Bijlage 1: SWOT-analyse voor de verschillende vervoersmodi

	Wegvervoer	Spoorvervoer	Binnenvaart	Estuaire Vaart
Sterkte	Flexibiliteit Bereikbaarheid	Bestaand netwerk	Lage operationele kost en 'schoon'	Lage operationele kost en 'schoon'
Zwakte	Congestie	Gebrek aan flexibiliteit	Traagheid	Compatibiliteit
Opportuniteit	Nieuwe logistieke evoluties	Liberalisatie	Politieke prioriteit	Politieke prioriteit
Bedreiging	Extra regelgeving	Bedrijfscultuur	Beperkt netwerk	Traagheid
Intermodaal	Flexibiliteit Bereikbaarheid	Bestaand netwerk	Lage operationele kost en 'schoon'	Lage operationele kost en 'schoon'

(Bron: Vannieuwenhuysse et al., 2006)

Bijlage 2: Interne en externe samenwerkingsmotieven

Interne samenwerkingsmotieven:

- Rationalisering (kostenvermindering)
- Vergroten van de beschikbare opslag- of transportcapaciteit
- Vergroten van de hoeveelheid beschikbare investeringsmiddelen
- Uitbreiden van het geografische activiteitengebied
- Aanscherpen van bestaande vaardigheden en expertise
- Flexibel maken van het aantal beschikbare personeelsleden en voertuigen
- Risicospreiding
- Schaalvergroting
- Overwinnen van buitenlandse investeringsmoeilijkheden, taal- of handelsbarrières
- Diversificatie
- Groei
- Full service
- Vermijden van redundantie en duplicatie van investeringen of ontwikkelkosten

Externe samenwerkingsmotieven:

- Onzekere economische conjunctuur
- Onrust op de wereldmarkten
- Toenemende concurrentie
- Globalisering en open grenzen
- Technologische innovatie
- Kortere levenscycli van producten
- Toenemende differentiatie en specialisatie
- Verstrengde wetgeving
- Veeleisende klanten

(Bron: Verstrepen, 2005)

Bijlage 3: Grondvormen van logistieke samenwerking

Samenwerkingsvormen op operationeel niveau:

1. Onderhoudsgroep
2. Ad hoc delen van opslagruimte
3. Ad hoc uitwisselen van vrachten
4. Road assistance

Samenwerkingsvormen op operationeel/tactisch niveau:

5. Aankoopgroep
6. Chartering of onderaanneming
7. Asset pooling

Samenwerkingsvormen op tactisch niveau:

8. Structurele vrachtwisseling
9. Structureel delen van opslagruimte
10. Groepage van goederen of vrachtconsolidatiegroep
11. Shared Service Center (SSC) of administratieve groep

Samenwerkingsvormen op tactisch/strategisch niveau:

12. Kennisplatform
13. Tendergroep
14. Crossdockplatform of overslagplatform
15. Fulfilment Center
16. Reverse logistics groep

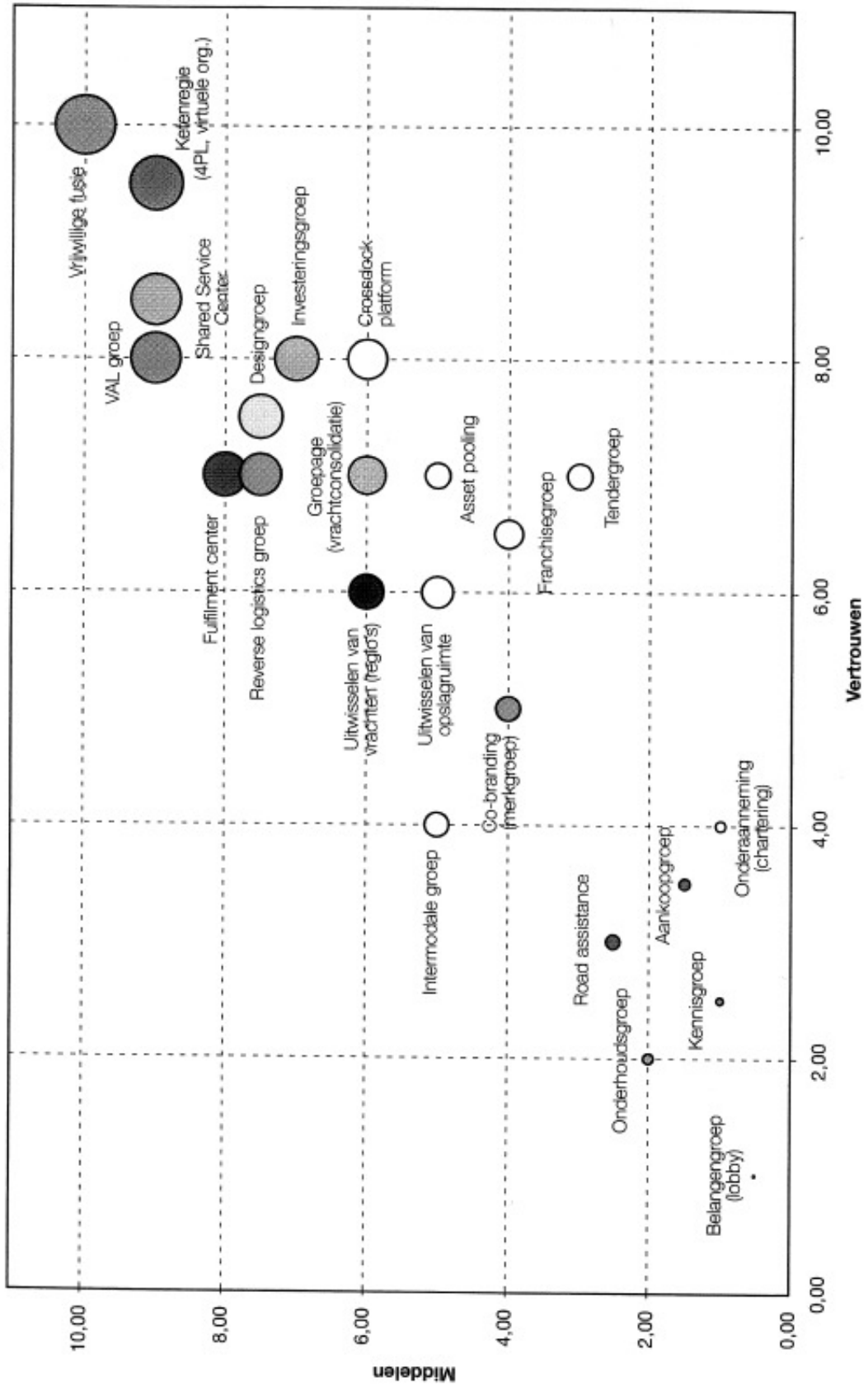
Samenwerkingsvormen op strategisch niveau:

17. Lobby of belangengroep
18. Co-branding of merkgroep
19. Franchising
20. Intermodale groep
21. Investeringsgroep
22. Designgroep
23. Value Added Logistics (VAL) groep
24. Ketenregie of virtuele organisatie
25. Vrijwillige fusie of overname

(Bron: Verstrepen, 2005)

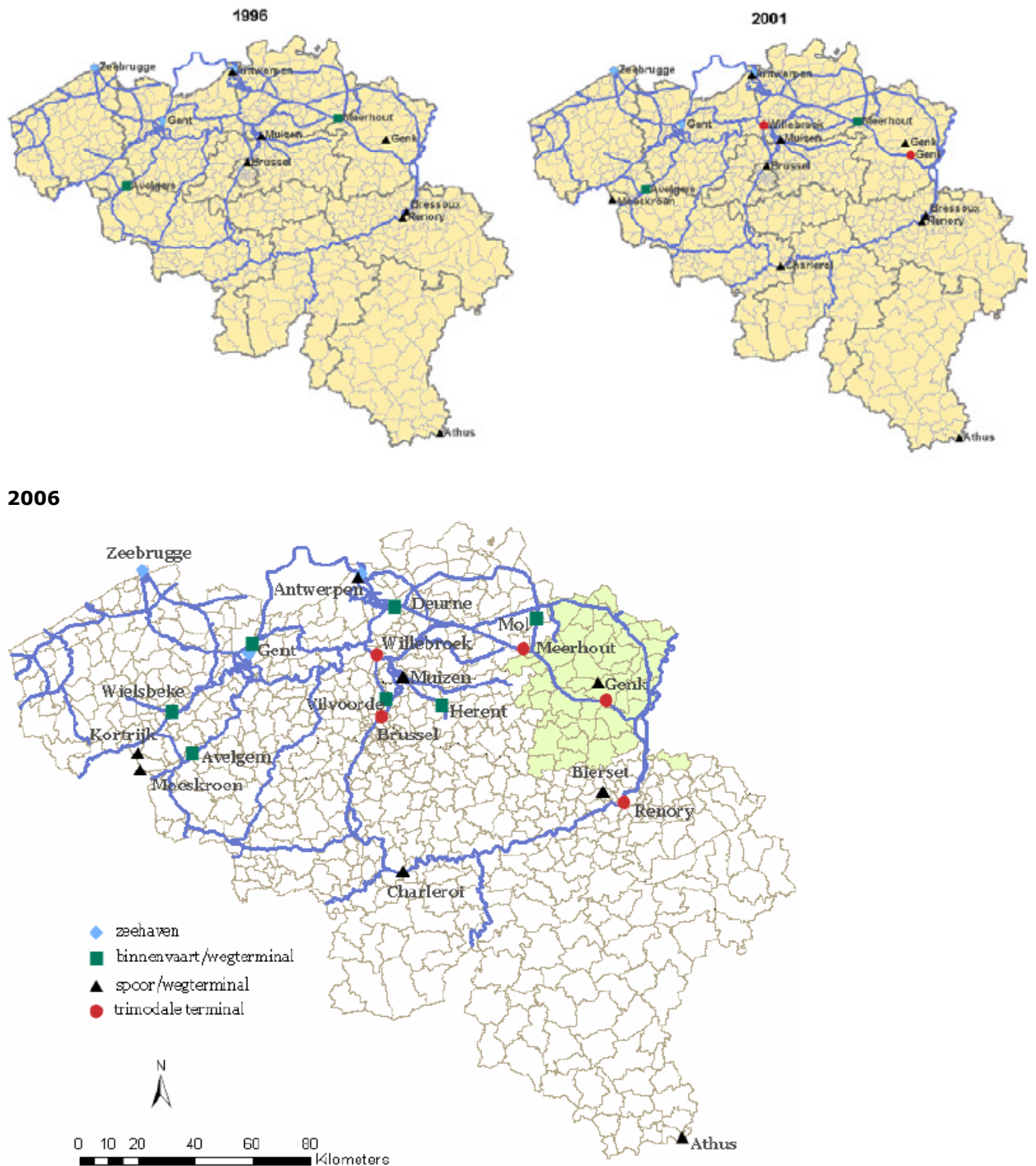
Vergelijkend overzicht horizontale logistieke samenwerkingsvormen

(Cirkelgrootte = indicatie van de instapdrempel)



(Bron: Verstrepen, 2005)

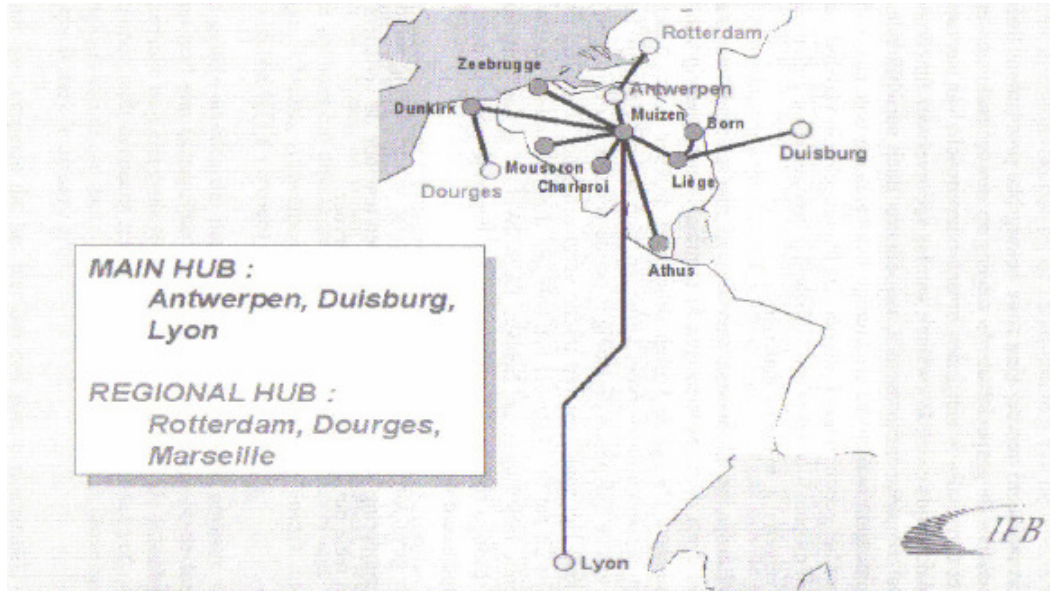
Bijlage 4: Evolutie van het terminallandschap in België



(Bron: Buck Consultants International in samenwerking met de Vrije Universiteit Brussel, 2006; Vlaamse Milieumaatschappij, 2006)

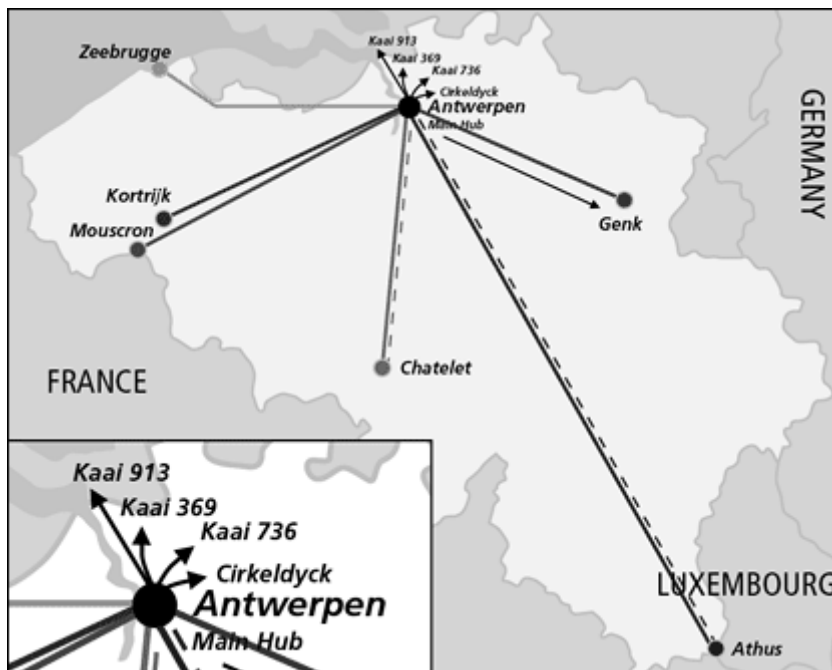
Bijlage 5: Netwerken waarin IFB, TRW en ICF betrokken zijn

North European Network (NEN) van Inter Ferry Boats (IFB):



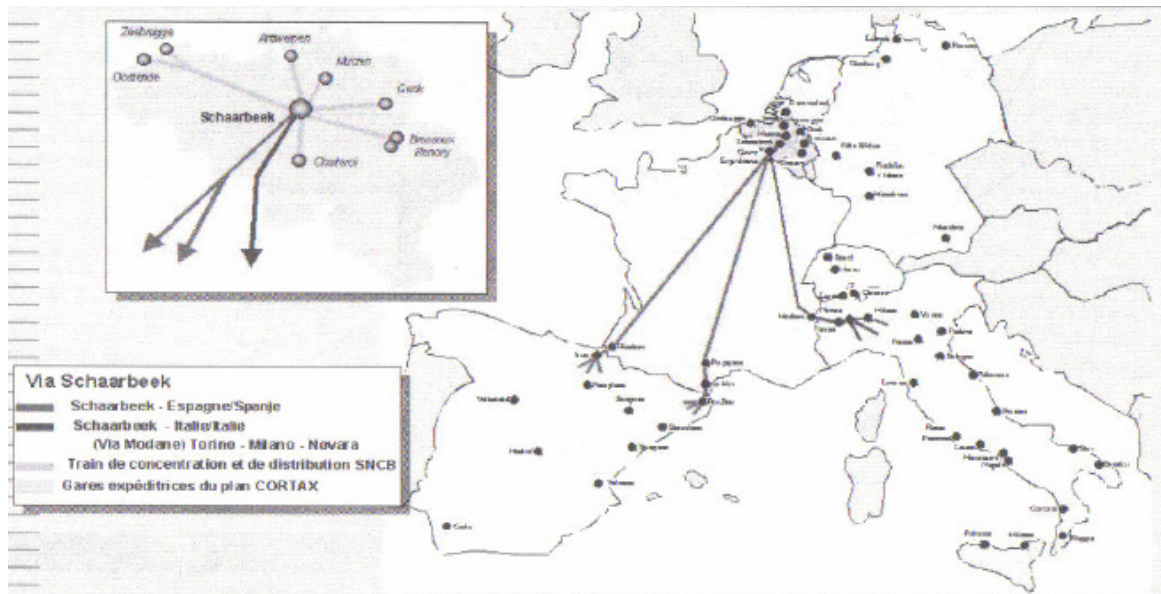
(Bron: Martens, 2002)

National Rail Container Network (NARCON) van Inter Ferry Boats (IFB):



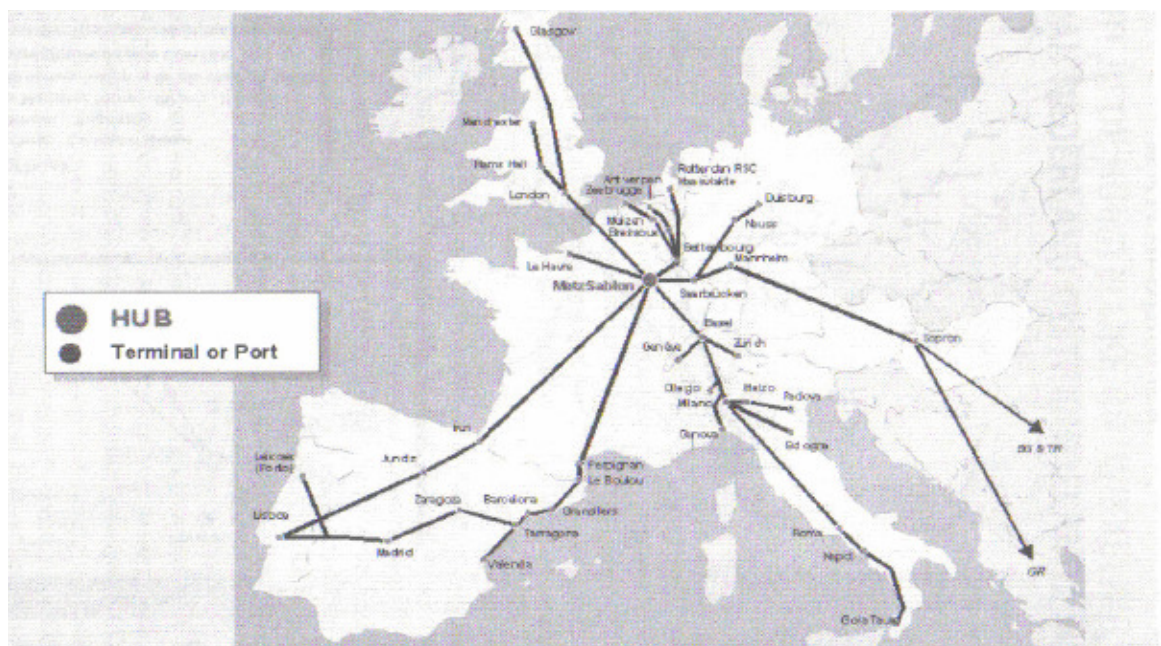
(Bron: Inter Ferry Boats, 2008)

Cortax-netwerk van Transport Rail Weg (TRW):



(Bron: Martens, 2002:98)

Qualitynet van Intercontainer/Interfrigo (ICF):



(Bron: Martens, 2002:97)

Bijlage 6: Verklaring parameters MCND- en PMCND-formulering

Variabele	Betekenis
y_{ij}	Ontwerpbeslissing wat de opening van een verbinding betreft (binair)
x_{ij}^p	Geven weer hoeveel van product p door de verbinding (i, j) stroomt
h_l^p	De stroom van product p over pad l
Verzameling	Betekenis
N	Verzameling van alle knooppunten
A	Verzameling van alle verbindingen
P	Verzameling van alle mogelijke producten
Y	Verzameling van mogelijke waarden voor y
S	Het dienstennetwerk, verzameling van alle mogelijke diensten
L^p	Verzameling van alle 'paden' die toegestaan zijn voor product p
Parameter	Betekenis
f_{ij}	$Y = \{0, 1\}^{ A }$: de vaste kost voor het openen van de verbinding (i, j) . $Y = N_+^{ A }$: een kost van f_{ij} wordt veroorzaakt telkens wanneer een eenheid gebruik maakt van deze verbinding
c_{ij}^p	De transportkost per eenheid van de goederenstroom van product p over verbinding (i, j)
u_{ij}	De capaciteit van verbinding (i, j)
d_i^p	De vraag naar product p in knooppunt i
w^p	De totale vraag van product p
δ_{ij}^{lp}	Kan de waarde 0 of 1 aannemen. Wanneer de verbinding (i, j) tot traject $l \in L^p$ behoort voor product p dan is $\delta_{ij}^{lp} = 1$, elders 0.
k_l^p	De transportkost van product p voor pad l , $k_l^p = \sum_{(ij) \in A} c_{ij}^p \delta_{ij}^{lp}$

(Bron: Crainic, 2000)

Bijlage 7: LINGO model praktijktoepassing

In eerste instantie wordt ingegaan op de verschillende onderdelen die het LINGO model opmaken. Tevens wordt kort wat uitleg gegeven bij bijzonderheden van het LINGO model in kwestie.

Het LINGO model bestaat uit drie onderdelen, met name een 'sets' onderdeel, een 'data' onderdeel en het mathematische model. In het eerste gedeelte worden de sets en hun bijgehorende attributen gedefinieerd. Sets zijn groepen van verwante objecten. Er kan een onderscheid gemaakt worden tussen primitieve sets en afgeleide sets. Primitieve sets bestaan uit fundamentele objecten die niet verder herleid kunnen worden, bijvoorbeeld de sets "verbindingen", "producten", en "paden". Een afgeleide set maakt zijn leden op uit één of meer reeds bestaande sets. Zo zijn "bepalingpaden" en "bepalingproducten" afgeleide sets. Elk lid van een set wordt getypeerd door één of meerdere karakteristieken. Deze karakteristieken worden attributen genoemd. Zo heeft bijvoorbeeld elk product in de set van producten een overeenkomstige vraag. De attributen "open" en "volume" geven de beslissingsvariabelen weer.

Specifiek voor ons model zijn de attributen "AA" en "BB". Deze attributen moeten ervoor zorgen dat de sets "paden", "bepalingpaden" en "bepalingproducten" aan elkaar gelinkt zijn. In het netwerkmodel volgens de PMCND-formulering neemt de vierdimensionale parameter δ_{ij}^p deze functie op. Om de complexiteit van het LINGO model te beperken, hebben we deze vierdimensionale parameter opgedeeld in 3 matrices. Allereerst hebben we de verbindingen doorlopend geformuleerd, in plaats van de gebruikelijke matrix notatie. Vervolgens hebben we de paden eveneens doorlopend geformuleerd, in plaats van per product. Hierna worden de verbindingen aan paden toegewezen door middel van het attribuut "AA". Ten slotte worden de paden toegewezen aan producten door middel van het attribuut "BB".

Het tweede onderdeel van het model bevat de data die gebruikt wordt in het model. Door middel van het data onderdeel worden waarden toegekend aan de attributen.

Het derde onderdeel ten slotte bevat de formulering van het mathematische model. De commando's "@BIN" en "@GIN" zorgen ervoor dat de beslissingsvariabelen "open" en "volume" respectievelijk tot een binaire en een geheeltallige waarde beperkt worden.

MODEL:

!VOLUME is de hoeveelheid dat aan een pad toegewezen wordt;
!OPEN duidt aan of een verbinding gebruikt wordt;

SETS:

VERBINDINGEN /1..12/: VASTEKOSTEN, CAPACITEIT, OPEN;
PRODUCTEN /1..8/: VRAAG;
PADEN /1..32/;
BEPALINGPADEN (PADEN, VERBINDINGEN): AA;
BEPALINGPRODUCTEN (PRODUCTEN,PADEN): BB, VARKOSTEN, VOLUME;

!VOLUME is een geheelgetallige beslissingsvariabele;
!OPEN is een binaire beslissingsvariabele;

!VERBINDINGEN:

1=(1,2) 7=(3,1)
2=(1,3) 8=(3,2)
3=(1,4) 9=(3,4)
4=(2,1) 10=(4,1)
5=(2,3) 11=(4,2)
6=(2,4) 12=(4,3);

!PADEN: zoals in tabel 7 gedefinieerd, maar dan doorlopend;

ENDSETS

DATA:

VASTEKOSTEN=
300 1200 1200 300 1000 1000 1200 1000 400 1200 1000 400;
CAPACITEIT=
603 603 603 603 603 603 603 603 603 603 603 603;
VRAAG=
82 41 185 53 60 25 90 67;
AA=
0 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
1 0 0 0 1 0 0 0 0 0 0 0
0 0 1 0 0 0 0 0 0 0 0 1
1 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 1
0 0 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0
1 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 0
0 1 0 0 0 0 0 0 1 0 0 0
1 0 0 0 1 0 0 0 1 0 0 0
0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 0 0
0 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 1
0 1 0 1 0 0 0 0 0 0 0 0
0 0 1 1 0 0 0 0 0 0 0 1
0 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 0
0 0 0 0 1 0 0 0 1 0 0 0
0 0 1 1 0 0 0 0 0 0 0 0
0 1 0 1 0 0 0 0 1 0 0 0
0 0 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0
0 0 0 1 0 0 0 0 1 0 0 0
0 0 0 0 0 0 0 0 1 1 0 0
0 0 0 1 0 0 0 0 1 0 1 0
0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 0 0
0 0 0 1 0 0 0 0 0 0 1 0
0 0 0 0 0 0 1 0 0 0 0 1
0 0 0 1 0 0 0 0 1 0 0 0
0 0 0 0 0 0 0 0 1 0 0 0
0 0 0 0 0 0 0 0 1 0 1 0
1 0 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0
1 0 0 0 0 0 0 0 1 1 0 0

```
0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 0
0 0 0 0 0 0 0 0 1 0 0 0 1
1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 0 0
1 0 0 0 0 0 1 0 0 0 0 1;
BB=
1 1 1 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
0 0 0 0 1 1 1 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
0 0 0 0 0 0 0 0 1 1 1 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 1 1 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 1 1 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0
0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 1 1 1 0 0 0 0 0
0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 1 1 1 0 0 0 0
0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 1 1 1 0 0 0
0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 1 1 1;
```

```
VARKOSTEN=
6.8911 14.8911 6.8911 14.8911 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
0 0 0 0 0 0
0 0 0 0 6.8911 14.8911 6.8911 14.8911 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
0 0 0 0 0 0
0 0 0 0 0 0 0 6.8911 6.8911 14.8911 14.8911 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
0 0 0 0 0 0
0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 6.8911 6.8911 14.8911 14.8911 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
0 0 0 0 0 0
0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 6.8911 14.8911 6.8911 14.8911 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
0 0 0 0 0 0
0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 6.8911 14.8911 6.8911 14.8911 0 0 0 0 0 0 0 0
14.8911 0 0 0 0
0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 6.8911 6.8911 14.8911
14.8911 0 0 0 0
0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 6.8911 6.8911
14.8911 14.8911;
```

ENDDATA

!De doelfunctie;

```
[TTL_COST] MIN = @SUM( VERBINDINGEN(I): VASTEKOSTEN(I) * OPEN(I)) +
@SUM( BEPALINGPRODUCTEN(P,L): VARKOSTEN(P,L) * VOLUME(P,L));
```

!Beperkingen;

```
@FOR( PRODUCTEN(P) :
@SUM( BEPALINGPRODUCTEN(P,L): VOLUME(P,L) * BB(P,L)) = VRAAG(P));
```

```
@FOR( VERBINDINGEN(I) :
@SUM( BEPALINGPRODUCTEN(P,L): VOLUME(P,L) * AA(L,I) * BB(P,L)) <=
CAPACITEIT(I) * OPEN(I));
```

@FOR(BEPALINGPRODUCTEN: @GIN(VOLUME));

@FOR(VERBINDINGEN: @BIN(OPEN));

END

