

2012•2013
FACULTEIT BEDRIJFSECONOMISCHE WETENSCHAPPEN
*master in de toegepaste economische wetenschappen:
handelsingenieur: operationeel management en logistiek*

Masterproef
Simulatie van goederenvervoer in Vlaanderen

Promotor :
dr. Katrien RAMAEKERS

Copromotor :
Prof. dr. An CARIS

Michaël Vreys
*Masterproef voorgedragen tot het bekomen van de graad van master in de toegepaste
economische wetenschappen: handelsingenieur, afstudeerrichting operationeel management
en logistiek*

2012•2013

FACULTEIT BEDRIJFSECONOMISCHE
WETENSCHAPPEN

*master in de toegepaste economische wetenschappen:
handelsingenieur: operationeel management en logistiek*

Masterproef

Simulatie van goederenvervoer in Vlaanderen

Promotor :
dr. Katrien RAMAEKERS

Copromotor :
Prof. dr. An CARIS

Michaël Vreys

*Masterproef voorgedragen tot het bekomen van de graad van master in de toegepaste
economische wetenschappen: handelsingenieur, afstudeerrichting operationeel management
en logistiek*

Woord vooraf

Deze masterproef vormt het sluitstuk van mijn opleiding Handelsingenieur, met afstudeerrichting Operationeel Management en Logistiek aan de Universiteit Hasselt. Het onderwerp van mijn masterproef 'Opnemen van wegconsolidatie in goederenmodellen' sprak mij aan omwille van de huidige verkeersproblematiek in Vlaanderen en Europa. Bovendien leek het me zeer leerzaam om met modellen te werken. Het schrijven van deze masterproef was niet mogelijk geweest zonder de hulp en de ondersteuning van een aantal mensen. Hen wil ik langs deze weg dan ook oprecht bedanken.

Allereerst wens ik mijn promotor dr. Katrien Ramaekers te bedanken voor de aanzet die zij mij gaf tot vele goede ideeën. Haar ondersteuning en beoordelingen waren zeer nuttig om tot deze masterproef te komen. Zeer veel dank voor copromotor mevrouw Tabitha Maes voor de begeleiding tijdens het opstellen van het praktijkgedeelte en het leveren van de documenten voor het praktijkgedeelte. Ook wil ik dr. An Caris bedanken voor de kritische en zeer bruikbare feedback tijdens het masterproefseminarie.

Verder wil ik iedereen bedanken die me tijdens mijn opleiding ondersteund heeft. Mijn familie maakte het door hun morele en financiële steun mogelijk mijn opleiding met succes te beëindigen. Mijn medestudenten en vrienden verdienen ook een woordje van dank voor hun hulp en de fijne momenten tijdens mijn loopbaan aan de Universiteit Hasselt.

Samenvatting

In een geglobaliseerde samenleving met een consumptie-economie krijgt goederentransport een cruciale rol toegewezen. De huidige trend van globalisatie en bijgevolg de toenemende internationale handel zorgen ervoor dat transport en logistiek steeds belangrijker worden.

Voor de verschillende overheidsinstanties op internationaal, nationaal en regionaal niveau is een correct goederenmodel van grote waarde als hulpmiddel bij het zoeken naar oplossingen voor verkeersproblemen. Aan de hand van transportmodellen kan men het effect van beleidsbeslissingen op de gebruikers van het transportnetwerk inschatten. De resultaten van dergelijke modellen zijn dan weer een input voor een kosten baten analyse om na te gaan of een beleidsbeslissing de economische welvaart verbetert.

Een nadeel van veel goederenmodellen is het volledig ontbreken van logistieke elementen (Ben-Akiva en de Jong, 2008). Echter, veranderingen in productie, handel, voorraad en transport worden gedreven door logistieke principes. Deze logistieke beslissingen beïnvloeden dus de veranderingen in het goederentransportsysteem terwijl de goederenmodellen niet capabel zijn om het effect van de veranderingen in het logistieke systeem te voorspellen (Tavasszy, et al., 2010).

De **literatuurstudie** is opgebouwd uit twee grote delen: enerzijds wordt er dieper ingegaan op de verschillende goederenmodellen en anderzijds wordt het concept consolidatie verduidelijkt.

De drie voornaamste goederenmodellen voor deze masterproef worden besproken in de literatuurstudie. Het *vierstapsmodel* wordt gebruikt als basis voor de meeste goederenmodellen (Ben-Akiva en de Jong, 2007). Dit model bevat vier stappen: productie en attractie, distributie, modal split en toewijzing. Voor deze masterproef is de derde stap de belangrijkste, in deze stap worden immers de logistieke elementen opgenomen.

Het *aggregate-disaggregate-aggregate (ADA) model* neemt de logistieke beslissingen in een gedisaggregeerde module op. De attributen van de beslissingsnemers worden opgenomen en de logistieke keuzes kunnen gemodelleerd worden op het niveau van de eigenlijke beslissingsnemer. Het ADA model gebruikt de totale logistieke kost in de logistieke module om de transportketen keuze te maken (Ben-Akiva en de Jong, 2008).

Het *goederenmodel van Liedtke* beschrijft een methode voor het modelleren van logistieke processen en transportsystemen op micro-economisch niveau. Het model hanteert een bottom-up aanpak waarin logistieke structuren gecreëerd worden door simulatie (Liedtke, 2009).

Consolidatie, in de context van goederentransport, behelst het groeperen van individuele leveringen of deelladingen die bestemd zijn voor dezelfde locatie zodat een kleiner aantal volle ladingen getransporteerd worden naar hun bestemming. Het is een logistieke strategie die twee of

meer orders bundelt zodat een grotere hoeveelheid goederen kan verzonden worden in hetzelfde voertuig (Ülkü, 2009).

Consolidatie heeft een impact op de routekeuze en de moduskeuze. Deze logistieke beslissingen hebben een invloed op het totale volume van goederentransport en moeten dus opgenomen worden in een goederenmodel (Maurer, 2008). Er is sprake van consolidatie op het niveau van de transportketen (terminal) en op het niveau van voertuigroutes (Schroeder, et al. 2011). Schaalvoordelen kunnen dus gehaald worden in logistieke faciliteiten alsook in voertuigen zelf.

In het **praktijkgedeelte** werd onderzocht hoe wegconsolidatie in een goederenmodel kan opgenomen worden. Hiervoor werd een simulatiemodel voor Vlaanderen gebruikt. De stappen van het ADA-model werden toegepast om de logistieke beslissingen op gedisaggregeerd niveau op te nemen. De totale logistieke kost werd berekend voor de verschillende transportketens. Vervolgens werd gekeken welke optie het voordeligste is.

Eerst werd de totale logistieke kost voor de rechtstreekse leveringen berekend. Er werden vervolgens consolidatiemogelijkheden onderzocht op niveau van de transportketen (met terminal) en op niveau van de voertuigroutes. De totale logistieke kost voor rechtstreekse leveringen kon hierna vergeleken worden met de totale logistieke kost na consolidatie. Tenslotte werd ook gekeken naar de verschillende methodes om de kosten te verdelen.

We merken dat in het simulatiemodel consolidatie in voertuigen van ladingen met een gemeenschappelijke vertrekplaats en consolidatie in voertuigen van ladingen met een gemeenschappelijke aankomstplaats steeds een positief effect hebben op de totale logistieke kost van de transportketen. Tevens zien we dat consolidatie met terminal niet altijd garant staat voor een verlaging van de totale logistieke kost van de transportketen. Bovendien merken we dat voor dezelfde transportketen consolidatie in voertuigen meestal lagere kosten met zich meebrengt dan consolidatie in terminals. Ook werd duidelijk dat bepaalde zones beter geschikt waren voor consolidatie dan andere. Naast de locatie van de bedrijven zal ook de bezettingsgraad van de vrachtwagen een rol spelen. Hoe meer de capaciteit van een vrachtwagen benut wordt, hoe meer de kosten kunnen gedeeld worden.

De methode van kostenallocatie zal bepalen of bedrijven al dan niet deel willen uitmaken van een transportketen. Indien geen of slechts geringe voordelen zijn gebonden aan consolidatie zullen bedrijven rechtstreekse leveringen verkiezen. De kostenverdeling zal in bepaalde gevallen aangepast moeten worden zodat alle bedrijven kunnen genieten van de voordelen van consolidatie.

Inhoudsopgave

Woord vooraf	I
Samenvatting	III
Inhoudsopgave	V
Lijst met afbeeldingen	IX
Lijst met tabellen	XI
Deel 1: Inleiding	1
1.1 Praktijkprobleem	1
1.1.1 Situering.....	1
1.1.2 Omschrijving	2
1.2 Onderzoeksvragen.....	3
1.2.1 Centrale onderzoeksvraag.....	3
1.2.2 Deelvragen	3
1.3 Methodologie	5
1.3.1 Kwalitatief onderzoek	5
1.3.2 Kwantitatief onderzoek	5
Deel 2: Literatuurstudie	7
2.1 Goederenmodellen.....	7
2.1.1 Transportmodellen voor personenvervoer en goederenmodellen	8
2.1.2 Geaggregeerde data en gedisaggregeerde data	9
2.1.3 Het belang en de noden van een goederenmodel	10
2.1.4 Het vierstapsmodel	11
2.1.4.1 Productie en attractie.....	12
2.1.4.2 Distributie	13
2.1.4.3 Modal split.....	15
2.1.4.4 Toewijzing	16
2.1.5 Het ADA model.....	17
2.1.5.1 Structuur van het ADA model	17

2.1.6 Het goederenmodel van Liedtke.....	21
2.1.6.1 Structuur	21
2.1.6.1.1 Generatiemodule	22
2.1.6.1.2 Sourcing module	23
2.1.6.1.3 Marktinteractie module.....	24
2.2 Consolidatie.....	25
2.2.1 Consolidatie methode.....	25
2.2.2 Consolidatie type	26
2.2.3 Consolidatiecentrum.....	28
2.2.4 Consolidatiebeleid	28
2.2.5 Kostenallocatie	29
2.2.5.1 Coöperatieve speltheorie	29
2.2.6 Voor- en nadelen van consolidatie.....	30
Deel 3: Praktijkgedeelte.....	33
3.1 Inleiding:	33
3.2 Omschrijving simulatiemodel	34
3.3 Logistieke transportbeslissingen	35
3.3.1 Disaggregatie stap	36
3.3.2 Logistieke beslissingen aan de hand van de totale logistieke kost.....	37
3.4 Transportketens	41
3.4.1 Directe links	41
3.4.1.1 Wegtransport Klein	41
3.4.1.2 Wegtransport groot	43
3.4.1.3 Conclusie	44
3.4.2 Consolidatie:	46
3.4.2.1 Gemeenschappelijke vertrekplaats	46
3.4.2.2 Gemeenschappelijke aankomstplaats.....	48
3.4.2.3 Met Terminal	51
3.4.2.4 Vergelijkingen met of zonder terminal.....	54
3.4.2.5 Kostenallocatie.....	55

3.5 Conclusie:	61
Deel 4: Besluit	63
4.1 Opnemen van logistieke elementen in goederenmodellen	63
4.2 Consolidatie in goederentransport	64
4.3 Praktijkgedeelte	64
Deel 5: Lijst van geraadpleegde werken	67
Deel 6: Bijlagen	73
Bijlage A: Gerealiseerde links	73
Bijlage B: Gemeenschappelijke vertrekplaats	74
Bijlage C: Gemeenschappelijke aankomstplaats	75

Lijst met afbeeldingen

<i>Figuur 1: de vier stappen in het vierstapsmodel alsook de output gegenereerd per stap (Beagan, et al. 2008).....</i>	12
<i>Figuur 2: de OD-matrix na de productie en attractie stap (Ortúzar en Willumsen, 1994)</i>	13
<i>Figuur 3: De OD-matrix na de distributie stap (Ortúzar en Willumsen, 1994).....</i>	15
<i>Figuur 4: de structuur van het ADA model (Ben-Akiva en de Jong, 2008).....</i>	18
<i>Figuur 5: de structuur van het interlog model van Liedtke (Liedtke, 2009)</i>	22
<i>Figuur 6: de interlog software geeft hier een visuele weergave van de gegenereerde bedrijven (Liedtke, 2009).....</i>	23
<i>Figuur 7: consolidatie van de voorraad (Hall, 1987)</i>	26
<i>Figuur 8: consolidatie in voertuigen (Hall, 1987).....</i>	27
<i>Figuur 9: consolidatie in terminal (Hall, 1987)</i>	27
<i>Figuur 10: de geselecteerde zones in Vlaanderen</i>	34
<i>Figuur 11: : de vier stappen van het simulatiemodel (Maes, et al., 2011)</i>	35
<i>Figuur 12: de locatie van de terminals van de masterproef</i>	52

Lijst met tabellen

<i>Tabel 1: de geselecteerde links voor de masterproef</i>	35
<i>Tabel 2: de PC-stromen van goederencategorie NSTR1</i>	36
<i>Tabel 3: Berekening jaarlijkse bedrijf-naar-bedrijf stromen</i>	37
<i>Tabel 4: variabelen van de totale logistieke kost</i>	39
<i>Tabel 5: de algemene gegevens voor wegtransport klein</i>	41
<i>Tabel 6: specifieke gegevens van het voorbeeld Gent-Leuven</i>	41
<i>Tabel 7: berekeningen wegtransport klein</i>	42
<i>Tabel 8: algemene gegeven van wegtransport groot</i>	43
<i>Tabel 9: specifieke gegevens van het voorbeeld Gent-Leuven</i>	43
<i>Tabel 10: voorbeeld wegtransport groot</i>	44
<i>Tabel 11: vergelijking wegtransport klein en wegtransport groot</i>	44
<i>Tabel 12: voorbeeld gemeenschappelijke vertrekplaats Gent</i>	46
<i>Tabel 13: voorbeeld gemeenschappelijke vertrekplaats Gent</i>	47
<i>Tabel 14: totale transportkosten voor en na consolidatie</i>	48
<i>Tabel 15: kapitaalkost goederen in transit per link voor en na consolidatie</i>	48
<i>Tabel 16: voorbeeld gemeenschappelijke aankomstplaats Genk</i>	49
<i>Tabel 17: voorbeeld gemeenschappelijke aankomstplaats Genk</i>	49
<i>Tabel 18: totale transportkosten voor en na consolidatie</i>	49
<i>Tabel 19: kapitaalkost goederen in transit voor en na consolidatie</i>	50
<i>Tabel 20: voorbeeld gemeenschappelijke aankomstplaats Brugge</i>	50
<i>Tabel 21: voorbeeld gemeenschappelijke aankomstplaats Brugge</i>	50
<i>Tabel 22: vergelijking totale logistieke kost van verschillende transportketens</i>	51
<i>Tabel 23: totale afstand van de route</i>	53
<i>Tabel 24: transportkosten voor en na consolidatie</i>	53
<i>Tabel 25: kapitaalkost goederen in transit voor en na consolidatie</i>	53
<i>Tabel 26: totale afstand zonder terminal</i>	54
<i>Tabel 27: vergelijking van de totale transportkosten en de totale logistieke kost met of zonder terminal</i>	55
<i>Tabel 28: decompositie methode voor Brugge-Sint-Truiden</i>	56
<i>Tabel 29: totale logistieke kost per link voor en na consolidatie</i>	56
<i>Tabel 30: kostenbesparing transportketen met terminal</i>	57
<i>Tabel 31: kostenbesparing proportioneel verdeeld per link</i>	57
<i>Tabel 32: totale logistieke kost van transportketens</i>	58
<i>Tabel 33: totale logistieke kost per link met de Shapley-value methode</i>	59
<i>Tabel 34: overzicht van de verschillende methodes voor de kostenallocatie</i>	59
<i>Tabel 35: de gerealiseerde links</i>	73
<i>Tabel 36: gemeenschappelijke vertrekplaats</i>	74

Tabel 37: gemeenschappelijke aankomstplaats..... 75

Deel 1: Inleiding

1.1 Praktijkprobleem

1.1.1 Situering

De huidige trend van globalisatie en bijgevolg de toenemende internationale handel zorgen ervoor dat transport en logistiek steeds belangrijker worden voor de bedrijven.

Op Europees niveau speelt transport een voorname rol. Zo was, volgens een rapport van de Europese Commissie betreffende de toekomst van transport in Europa, de transportsector in 2009 goed voor 7% van het BBP¹ en 5 % van de Europese tewerkstelling. Daar transport steeds belangrijker wordt door de globalisatie en de groei van de internationale handel, zullen deze percentages in de toekomst enkel toenemen (European Communities, 2009).

Ook Vlaanderen hecht veel belang aan transport en logistiek. Vlaanderen in Actie, het sociaaleconomisch impulsprogramma van de Vlaamse Regering, heeft vooropgesteld om tegen 2020 de beste Europese regio te zijn op gebied van slimme en duurzame logistiek (Vlaamse Overheid, 2012). Daarnaast worden door het Departement Mobiliteit en Openbare Werken van de Vlaamse overheid enkele strategische thema's geformuleerd betreffende land- en proceslogistiek in Vlaanderen. Één van deze thema's is het optimaliseren van de logistieke keten. Instrumenten worden uitgewerkt om de logistieke consulent te benaderen en te overtuigen van de mogelijkheden van optimalisatie. Zo zijn er onder andere praktijkvoorbeelden en SWOT-analyses inzake bundeling en samenlading geformuleerd (Departement Mobiliteit en Openbare Werken, 2012).

Veranderingen in de wereld van logistiek hebben een invloed op de transportbeslissingen. Denk hierbij aan de 'Just In Time' strategie die bedrijven steeds vaker toepassen. Hierdoor zal men vaker en in kleinere hoeveelheden bestellen en bijgevolg voor een andere transportmodus kiezen. Ook een grotere flexibiliteit in de distributieketen is noodzakelijk. Andere logistieke beslissingen zoals het uitbesteden van logistieke activiteiten of horizontale samenwerking tussen bedrijven, zijn eveneens van invloed op de transportsector (Tavasszy et al. 2012).

¹ Bruto Binnenlands Product

1.1.2 Omschrijving

Bedrijven nemen zowel op vlak van transport als voorraad strategische beslissingen. Bij het nemen van transportbeslissingen komt dus veel meer kijken dan enkel de keuze van de transportmodus. Het bedrijf zal bepaalde logistieke beslissingen nemen zoals lotgrootte, het al dan niet gebruiken van distributie- en consolidatiecentra, etc. Deze logistieke beslissingen hebben een invloed op de voorraadpolitiek en op de transportbeslissingen (de Jong & Ben-Akiva, 2007).

Het doel van de bedrijven is het minimaliseren van de totale kosten (voorraad- & transportkosten). In de literatuur spreekt men van de totale logistieke kost. Dit houdt in dat alle kosten in de waardeketen die beïnvloed worden door de moduskeuze in rekening worden gebracht (Vernimmen en Witlox, 2003). De globalisatie en de ontwikkelingen op vlak van informatie en communicatie technologie hebben tot een functionele integratie van de waardeketen geleid. Men tracht alle activiteiten van de waarde keten te optimaliseren en dit terwijl de gewenste servicegraad in acht genomen wordt (Tavasszy et al. 2012).

Bedrijven ondervinden een tweezijdige druk. Enerzijds dienen de bedrijven rekening te houden met de servicegraad. In de huidige situatie is klantengerichtheid van de logistieke netwerken uiterst belangrijk. Maar anderzijds trachten ze ook hun kosten te minimaliseren. Dit kan door een lage voorraad aan te houden ofwel door schaalvoordelen bij grotere bestellingen. Modellen dienen dus zowel met de service- als kostendrijvers voor veranderingen in logistieke systemen rekening te houden (Tavasszy et al. 2012).

Een correct goederenmodel helpt onder andere bij het nemen van goede beleidsbeslissingen. Om diverse redenen is er vraag naar een correct goederenmodel (Tavasszy, 2006). Door de toename van het goederentransport verwacht men tegen 2050 een verdubbeling van het goederentransport. Bovendien zijn er steeds meer, weliswaar lichtere, vrachtwagens op de weg. Ook de trend van complexe, flexibele netwerken met logistieke concepten moet in de goederenmodellen opgenomen worden. Tenslotte meldt Tavasszy (2006) dat een correct goederenmodel belangrijk is voor het voeren van een goed milieubeleid.

Uit voorgaande blijkt dat transport en logistiek op Europees en Vlaams niveau belangrijke agendapunten te zijn. Logistieke ontwikkelingen hebben een grote invloed op de goederenstroom (Tavasszy et al., 2012). Om tot een correct goederenmodel te komen, moeten logistieke elementen ook opgenomen worden. Echter, in veel van de bestaande modellen zijn belangrijke logistieke elementen niet opgenomen (de Jong & Ben-Akiva, 2007). Tot op dit moment werd slechts in beperkte mate rekening gehouden met deze logistieke elementen. Men haalde wel reeds het belang van deze elementen aan, maar de specifieke eigenschappen van deze logistieke processen werden niet behandeld (Tavasszy et al. 2012).

1.2 Onderzoeksvragen

1.2.1 Centrale onderzoeksvraag

Een correcte voorstelling van de logistieke elementen in het goederenmodel laat toe om het effect van veranderingen in logistieke systemen op toekomstige transportbewegingen te voorspellen (Tavasszy et al., 2012). Dit is ook wat bovenstaand praktijkprobleem aangeeft. Een correct goederenmodel is een belangrijke stap in het oplossen van transportproblemen. Deze masterproef zal zich focussen op het wegtransport van goederen en meer bepaald hoe wegconsolidatie in goederenmodellen kan worden opgenomen. Dit leidt tot de volgende onderzoeksvraag:

Hoe kan wegconsolidatie in goederenmodellen opgenomen worden?

1.2.2 Deelvragen

Om deze centrale onderzoeksvraag te kunnen beantwoorden, worden drie deelvragen geformuleerd:

Welke goederenmodellen zijn in de literatuur voorhanden?

In de literatuur zijn er een behoorlijk aantal goederenmodellen terug te vinden. Voor deze masterproef worden drie goederenmodellen in detail besproken: het vierstapsmodel, het aggregate-disaggregate-aggregate (ADA) model en het goederenmodel van Liedtke. De bedoeling is deze drie goederenmodellen duidelijk en in detail te bespreken aangezien deze modellen ook de het voornaamste zijn voor het praktijkgedeelte.

Hoe worden logistieke elementen opgenomen in goederenmodellen?

Er wordt nagegaan hoe logistieke elementen opgenomen worden of opgenomen kunnen worden in de drie goederenmodellen die besproken worden in de masterproef. Zo neemt het aggregate-disaggregate-aggregate model de logistieke beslissingen op in een gedisaggregeerde module. Dit model zal ook gebruikt worden in het praktijkgedeelte om de consolidatiemogelijkheden te onderzoeken.

Wat is consolidatie in goederentransport?

In het tweede grote deel van de literatuurstudie wordt onderzocht wat consolidatie juist inhoudt in de context van goederentransport. Er zal gekeken worden hoe bedrijven ladingen kunnen consolideren.

1.3 Methodologie

Om te onderzoeken hoe we wegconsolidatie kunnen opnemen in goederenmodellen, zal zowel een kwalitatief als een kwantitatief onderzoek uitgevoerd worden.

1.3.1 Kwalitatief onderzoek

Het kwalitatief onderzoek kan opgedeeld worden in twee grote delen. Het eerste deel zal handelen over de reeds bestaande goederenmodellen. Het tweede deel bespreekt het concept consolidatie in goederentransport.

Zoals reeds eerder aangehaald zullen in de literatuurstudie enkel de drie voornaamste goederenmodellen voor deze masterproef uitvoerig besproken worden. Als inleiding hierop zal het verschil tussen modellen voor personenvervoer en goederenmodellen toegelicht worden. Ook wordt uitgelegd wat gedissaggregeerde data is en waarin deze verschilt met de geaggregeerde data. Alvorens over te gaan tot de bespreking van de drie modellen, wordt het belang en de noden van goederenmodellen toegelicht.

In het tweede deel wordt consolidatie in goederentransport besproken. Er wordt onderzocht wat dit juist betekent in goederentransport. In de verschillende secties wordt nagegaan op welke verschillende manieren aan consolidatie kan gedaan worden en waar men kan consolideren.

1.3.2 Kwantitatief onderzoek

In het praktijkgedeelte wordt onderzocht hoe we wegconsolidatie kunnen opnemen in goederenmodellen. De consolidatiebeslissingen zullen in een logistieke module opgenomen worden. In deze module zal de werkwijze van het ADA-model toegepast worden. Op deze manier kunnen de logistieke beslissingen op gedissaggregeerd niveau genomen worden.

Het simulatiemodel wordt toegepast op Vlaanderen. Vlaanderen bevat 308 gemeenten. Deze worden gebruikt om de regio op te delen in zones. Voor deze masterproef worden 10 van de 308 zones geselecteerd om zo de berekeningen te vereenvoudigen.

Net zoals in het ADA model zal gekeken worden naar de totale logistieke kost. De totale logistieke kost zal berekend worden voor de verschillende transportketens. Vervolgens wordt gekeken welke optie het voordeligste is voor het desbetreffende bedrijf.

De consolidatiemogelijkheden die onderzocht worden zijn consolidatie in voertuigen en consolidatie in terminals. Voor de consolidatie in voertuigen wordt er gekeken naar routes met dezelfde vertrekplaats of dezelfde aankomstplaats.

Deel 2: Literatuurstudie

2.1 Goederenmodellen

Transportmodellen worden gebruikt voor de ontwikkeling en de analyse van verschillende transportbeleidsalternatieven (Friedrich, et al., 2003). Aan de hand van deze transportmodellen kan men het effect van beleidsbeslissingen op de gebruikers van het transportnetwerk inschatten. De resultaten van dergelijke modellen zijn dan weer een input voor een kosten baten analyse om na te gaan of een beleidsbeslissing de economische welvaart verbetert (Liedtke, et al., 2004).

Er kan een onderscheid gemaakt worden tussen transportmodellen voor personenvervoer en goederenmodellen. Aangezien deze masterproef handelt over de goederenmodellen, wordt er slechts kort ingegaan op de transportmodellen voor personenvervoer. Deze vormen de basis voor de eerste goederenmodellen.

Een nadeel van veel goederenmodellen is het volledig ontbreken van logistieke elementen (Ben-Akiva en de Jong, 2008). Echter, veranderingen in productie, handel, voorraad en transport worden gedreven door logistieke principes. Deze logistieke beslissingen beïnvloeden dus de veranderingen in het goederentransportsysteem terwijl de goederenmodellen niet capabel zijn om het effect van de veranderingen in het logistieke systeem te voorspellen (Tavasszy, et al., 2010).

Alvorens over te gaan tot de bespreking van de belangrijkste goederenmodellen voor deze masterproef, zullen enkele andere aspecten gelinkt aan goederenmodellen verduidelijkt worden. Allereerst zal kort ingegaan worden op de transportmodellen voor personenvervoer en de goederenmodellen alsook de verschillen tussen beide. Vervolgens wordt er dieper ingegaan op het gebruik van geaggregeerde respectievelijk gedisaggregeerde data in de goederenmodellen. Dan wordt het belang en de noden van goederenmodellen besproken. Hierna worden drie goederenmodellen behandeld. Het eerste model is het vierstapsmodel dat de basis vormt voor veel andere goederenmodellen. Vervolgens zal het ADA model doorgenomen worden. Dit model is interessant omdat het een logistieke module bevat die gebaseerd is op gedisaggregeerde data. Het laatste model dat onder de loep wordt genomen is het simulatiemodel van Liedtke, een model dat eveneens logistieke elementen opneemt.

2.1.1 Transportmodellen voor personenvervoer en goederenmodellen

Modellen voor personenvervoer zijn verder ontwikkeld dan goederenmodellen. De aandacht voor goederentransport is pas de laatste jaren fors toegenomen omdat het belang van een correct goederenmodel is toegenomen (de Jong, et al., 2004; Maes, et al., 2010; Maes, et al., 2010). Het belang van een goederenmodel wordt besproken in sectie 2.1.3.

Goederenmodellen en modellen voor personenvervoer hebben enkele gelijkenissen. Zowel bij personenvervoer als goederenvervoer wordt de vraag naar transport bepaald door de activiteiten aan de herkomstplaatsen en bestemmingszones (Rodrigue, 2006). Ook maken beiden gebruik van hetzelfde transportsysteem (Friedrich, et al., 2003).

De eerste goederenmodellen waren dan ook gebaseerd op de principes van de modellen voor personenvervoer, namelijk het vierstapsmodel (Tavasszy, et al., 2010; Ben-Akiva, M. en de Jong, G., 2007). Het vierstapsmodel bestaat uit vier grote stappen: tripgeneratie, tripdistributie, modal split en toewijzing. Afhankelijk van de toepassing kunnen nog stappen worden toegevoegd. In dit model worden trips gegenereerd. Per trip zal een persoon zich bewegen van een herkomstplaats naar een bestemmingszone. De trips worden onderverdeeld naar gelang het doel van de trip. Deze stappen worden opeenvolgend uitgevoerd, wel is feedback mogelijk om het evenwicht tussen vraag en aanbod (naar personenvervoer) te bewaren (Motos, 2007). In sectie 2.1.4 wordt er dieper ingegaan op het vierstapsmodel voor goederentransport.

Enkele belangrijke verschillen tussen modellen voor personenvervoer en goederenmodellen zorgen ervoor dat het vierstapsmodel dat oorspronkelijk voor personenvervoer was ontwikkeld, aangepast moet worden voor het modelleren van het goederentransport. In het goederentransport zijn er verschillende agenten die verschillende beslissingen nemen (Maes, et al., 2010). Dit maakt het modelleren van goederentransport meer complex; er zijn immers meer factoren die een rol spelen, waaronder de logistieke context (Liedtke 2009). Om deze verschillende beslissingen van de verschillende beslissingsnemers alsook de interacties tussen de agenten in het model op te nemen, zijn meer modules nodig. Zo haalden Liedtke, et al. (2004) reeds aan dat de relatie tussen transport en de verantwoordelijke beslissingsnemer verloren gaat. De jong et al. (2004) melden dat de verschillende actoren in goederentransport heterogeen zijn, zelfs als ze tot dezelfde sector behoren. Ook wordt gewezen op de verschillen tussen modellen voor personenvervoer en goederenmodellen door de diversiteit van de goederen die geleverd moeten worden en de diversiteit van de beslissingsnemers in goederentransport .

De verschillende beslissingsnemers in goederentransport zijn volgens Liedtke (2009): de verzenders, de ontvangers, de forwarders en de transporteurs. De forwarder organiseert de verzendingen van de goederen van de verzender naar de ontvanger. Hij zal zorgen voor de opbouw en de coördinatie van de transportketen. De forwarder zal de goederen zelf niet transporteren. Dit zal de transporteur doen. Deze is bijgevolg verantwoordelijk voor de routeplanning.

2.1.2 Geaggregeerde data en gedisaggregeerde data

Goederenmodellen kunnen zowel op geaggregeerde data als op gedisaggregeerde data gebaseerd zijn.

In het geval van geaggregeerde modellen maakt men gebruik van niet op het individu herleidbare data. Men zal immers groepen gebruiken als observaties. Zo kan men bijvoorbeeld groeperen op geografische zone (Ben-Akiva en de Jong, 2008). Deze geaggregeerde modellen veronderstellen een homogeen kostenminimalisatiegedrag van de bedrijven en focussen op het marktaandeel van de verschillende modi op regionaal of nationaal niveau. Geaggregeerde modellen volgen meestal het klassieke vierstapsmodel (Maurer, 2008).

Gedisaggregeerde modellen worden door Ben-Akiva en de Jong (2008) gedefinieerd als modellen die gebruik maken van observaties op het niveau van het individu. In het geval van goederenmodellen spreekt men dan over observaties op het niveau van de lading. Bij gedisaggregeerde toepassingen zal de vraag naar transport aanzien worden als een reeks van individuele zendingen (Winston, 1983). Door gebruik te maken van gedisaggregeerde data kunnen individuele eigenschappen van grondstoffen, markten, verladers of transportdiensten opgenomen worden in het model (Maurer, 2008).

Door een tekort aan gedisaggregeerde data over goederentransport (Ben-akiva en de jong, 2007; de Jong, et al., 2004) zijn de bestaande goederenmodellen voornamelijk geaggregeerde modellen. Hierdoor kan een grote hoeveelheid precisie verloren gaan, vooral als geaggregeerde groepen van vrachtladingen niet homogeen zijn (de Jong, et al., 2004).

Het gebruik van gedisaggregeerde data wordt door verschillende auteurs aangemoedigd. Gedisaggregeerde modellen kunnen immers overweg met de heterogeniteit tussen economische actoren (Friedrich, 2010). Tevens melden de Jong et al. (2004) dat transportbeslissingen die plaatsvinden in een ruimere logistieke context (zoals het gebruiken van consolidatiecentra, distributiecentra of beslissingen over de voorraadpolitiek) in goederenmodellen kunnen gebracht worden door gedisaggregeerde modules. Ook Liedtke (2009) meldt dat sommige modules nood hebben aan gedisaggregeerde data. Deze modules kunnen gedetailleerder de relevante beleidsvariabelen opnemen en hebben geen vertekening door aggregatie (Ben-Akiva en de Jong, 2008).

2.1.3 Het belang en de noden van een goederenmodel

In een geglobaliseerde samenleving met een consumptie-economie krijgt goederentransport een cruciale rol toegewezen. Een correct goederenmodel heeft dan ook zeker zijn waarde voor de beleidsmakers en is een hulpmiddel bij het zoeken naar oplossingen voor verkeersproblemen. Indien men de factoren die van invloed zijn op het goederentransport beter begrijpt, zal het mogelijk zijn om betere voorspellingen te maken over toekomstige goederenbewegingen. Ook kan men de invloed van beleidsbeslissingen op het vrachtverkeer beter berekenen.

Reeds eerder werd aangehaald dat goederenmodellen achterlopen op modellen voor personenvervoer. Daarom is het belangrijk de goederenmodellen nog verder te ontwikkelen. Een goederenmodel op microniveau zou door de mogelijkheid om individuele reacties in kaart te brengen een significante verbetering betekenen voor de transportvoorspellingen en het beoordelen van beleidsmetingen (Liedtke, et al., 2004).

Onder meer Tavasszy (2006) haalt aan wat het belang is van een correct goederenmodel en wat de noden zijn. Zo is er nood aan (i) een detaillistische aanpak en (ii) een uitbreiding van het goederenmodel in een breder transportsysteem. Deze worden hierna verder besproken.

(i) Detaillistische aanpak

De voertuigtypes, de logistieke elementen en het ruimtelijk aspect moeten van dichterbij bekeken worden. Zo zullen coherente multimodale netwerken gecreëerd worden. De logistieke efficiëntie is een belangrijk aspect geworden voor de bedrijven. De logistieke sector in goederentransport is meer klantgericht geworden en complexe, flexibele netwerken worden gecreëerd om gebruik te kunnen maken van vernieuwende logistieke concepten. Ook trends op vlak van voertuigtypes moeten opgenomen worden; zo stijgt bijvoorbeeld het percentage lichte vrachtwagens op de weg.

(ii) Uitbreiding van het goederenmodel in een breder transportsysteem

In goederenmodellen zouden transport en de economie aan elkaar gelinkt moeten worden; het model moet dus op geografisch en op functioneel vlak uitgebreid worden.

Tegen 2050 verwacht de WBCSD (WBCSD, 2004)² een verdubbeling van de goederenstromen op wereldniveau. Ook het aandeel van goederentransport op de weg neemt toe. De groei van personenvervoer verloopt stabiel terwijl meer en kleinere vrachtwagens op het wegennet zijn.

²World Business Council for Sustainable Development

Maes et al. (2010) verklaren dat het belangrijk is om de logistieke trends niet over het hoofd te zien. Immers, bedrijven breiden hun activiteiten uit en richten zich mogelijk op de internationale markten. Bijgevolg worden de bedrijven dynamischer en zullen hun logistieke activiteiten ook toenemen. Trends als just-in-time (JIT) logistiek hebben hun invloed op de moduskeuze, lotgrootte en frequentie van leveringen.

2.1.4 Het vierstapsmodel

Het merendeel van de goederenmodellen op internationaal, nationaal en regionaal niveau zijn gebaseerd op het vierstapsmodel (Ben-Akiva en de Jong, 2007; Maes, et al., 2010). Net als veel andere goederentransportconcepten was het vierstapsmodel oorspronkelijk ontwikkeld voor het personenvervoer. Toch verschillen de stappen in het vierstapsmodel voor goederentransport met dat van personenvervoer (de Jong, et al., 2004). Het basisverschil zit in de inputdata (Beagan, et al. 2008). De verschillen worden verderop besproken per stap.

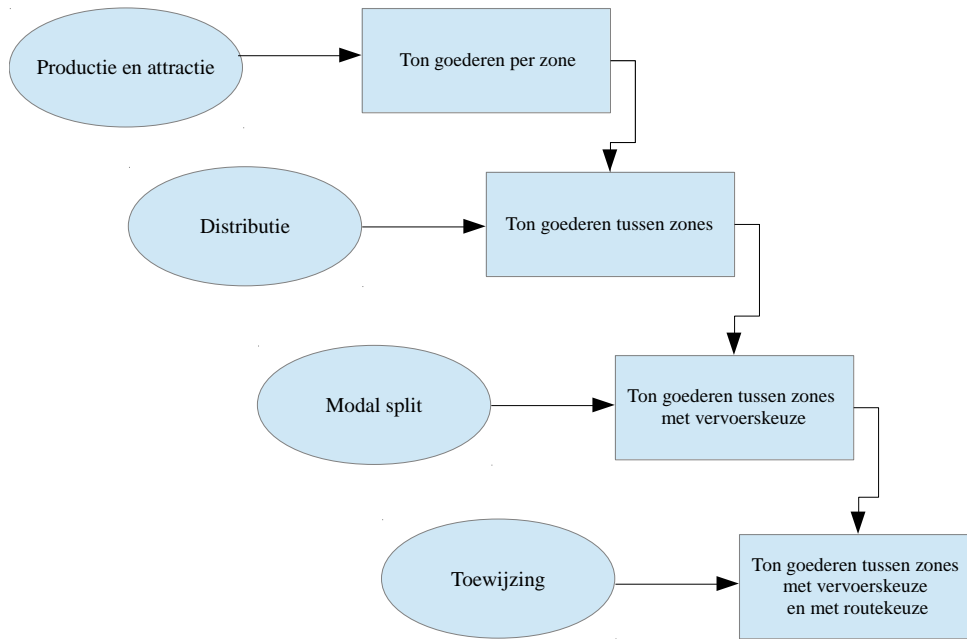
Dit model bestaat uit de volgende vier stappen:

- Productie en attractie
- Distributie
- Modal split
- Toewijzing

In elke stap worden beslissingen genomen. In realiteit worden deze beslissingen simultaan genomen, echter in het model gebeurt dit sequentieel of in stappen (Ortúzar en Willumsen, 1994). Bijgevolg is de output van een stap de input voor de volgende stap. Figuur 1 toont de vier stappen van het model en de output die elke stap genereert.

Het grootste nadeel bij deze modellen is het ontbreken van cruciale elementen als logistieke beslissingen in het transportsysteem. Dit komt omdat deze modellen gebruik maken van geaggregeerde data (zie eveneens sectie 2.1.2) (Maes, et al., 2010).

In de volgende vier secties worden de vier stappen besproken.



Figuur 1: de vier stappen in het vierstapsmodel alsook de output gegenereerd per stap (Beagan, et al. 2008)

2.1.4.1 Productie en attractie

Deze stap wordt ook wel 'tripgeneratie' genoemd (Ortúzar en Willumsen, 1994; Blauwens, et al., 2012). Het doel van deze stap is het voorspellen van het totaal aantal geproduceerde en aangetrokken goederenstromen per zone in het studiegebied (Blauwens, et al., 2012; Immers en Stada, 2011). Of met andere woorden, in deze eerste stap worden de hoeveelheid goederen getransporteerd van de verschillende herkomstplaatsen, O en de hoeveelheid goederen getransporteerd naar de verschillende bestemmingszones, D bepaald (de Jong, et al., 2004).

Als input worden gegevens gebruikt over de populatie in de verschillende zones alsook gegevens over de economische activiteit (onder andere werkgelegenheid, winkelcentra, onderwijs en recreatie faciliteiten). Tripgeneratie gebruikt economische variabelen voor het schatten van goederenstromen van en naar geografische zones (Beagan, et al. 2008). Volgens Ortúzar en Willumsen (1994) zijn enkele belangrijke variabelen betreffende tripgeneratie voor goederentransport: het aantal werknemers, de omzet van het bedrijf, de bebouwde oppervlakte en de totale oppervlakte van het bedrijf. Het type bedrijf en de toegankelijkheid zijn geen verklarende variabelen. Hieruit maken Ortúzar en Willumsen (1994) op dat verschillende producten geen andere transportvereisten hebben. De output van trip generatie is het aantal ton goederen dat een zone binnenkomt of verlaat gedurende een bepaalde periode en is terug te vinden in een OD-matrix (zie figuur 2).

Het is mogelijk dat er bij het berekenen van handelsstromen in de productie en attractie stap een monetaire eenheid wordt toegepast. Met een transformatiemodule zullen deze handelsstromen dan terug worden omgezet tot fysieke stromen van goederen. Deze transformatie kan worden uitgevoerd door gewichtsratio's toe te kennen aan de verschillende handelsgoederen. Hierbij wijzen de Jong et al. (2004) wel op het belang van goede dataverzameling aangezien deze transformatiemodule een grote invloed heeft op de finale schatting.

Tripgeneratie is gebaseerd op de algemene economische prognose. Hierdoor zal de tripgeneratie volledig afhankelijk zijn van de accuraatheid van deze economische voorspellingen. De prijs van transport daarentegen is niet relevant voor deze stap. De vraag is met andere woorden prijsinelastisch. Voor de volgende twee stappen is de prijs wel belangrijk (Blauwens, et al., 2012).

	Attractie				
Productie	1	2	3	4	
1					906
2					903
3					231
4					545
	378	386	760	1061	

Figuur 2: de OD-matrix na de productie en attractie stap (Ortúzar en Willumsen, 1994)

2.1.4.2 Distributie

In deze stap wordt het volume van de goederenstromen tussen elk paar zones geschat, rekening houdend met de resultaten van de productie en attractie stap (Button en Hensher, 2005). Andere inputdata zijn transportweerstand uitgedrukt als transportkosten. De output van deze stap vinden we eveneens terug in de OD-matrix (zie figuur 3) en is uitgedrukt in ton.

Het meest gebruikte model is het zwaartekracht model (de Jong, et al., 2004; Button en Hensher, 2005). Het model is een statistisch proces dat geschikt is voor het verklaren van de relatie tussen transportzones. Men beschouwt de goederenstroom tussen zone i en zone j als een functie van het product van de productie en attractie metingen van zone i en zone j , respectievelijk gedeeld door een meting van de algemene transportkost (Ortúzar en Willumsen, 1994):

$$T_{ij}^k = A_i^k * B_j^k * O_i^k * D_j^k * \exp(-\beta^k C_{ij}^k)$$

met

k is de index van het product type;

T_{ij}^k is het aantal ton van product k getransporteerd van i naar j ;

A_i^k, B_j^k zijn de balansfactoren;

O_i^k, D_j^k zijn het aanbod van het product k in zone i en de vraag naar het product k in zone j ;

β^k is de kalibratie parameter voor het product k ;

C_{ij}^k is de algemene transportkost per ton van product k tussen zone i en j .

Hierbij is het belangrijk rekening te houden met de relatieve bijdrage van de algemene transportkost tot de totale finale kost van een goed (Ortúzar en Willumsen, 1994).

De Jong et al. (2004) geven enkele goederenmodellen die gebruik maken van dergelijke zwaartekracht modellen in de distributie stap:

- het Nederlandse TEM-II model;
- het Nederlandse SMILE model.

Een ander model is het kostenminimalisatie-distributiemodel. Dit model is speciaal voor goederenmodellen ontwikkeld (Blauwens, et al., 2012). Het kostenminimalisatie-distributiemodel bepaalt de goederenstromen tussen de zones door het probleem als een lineair programmeringsprobleem te formuleren:

$$\text{Min} \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J C_{ij} * x_{ij}$$

s.t.

$$\begin{array}{ll} \sum_{j=1}^J x_{1j} = R_1 & \sum_{i=1}^I x_{i1} = K_1 \\ \sum_{j=1}^J x_{2j} = R_2 & \sum_{i=1}^I x_{i2} = K_2 \\ \sum_{j=1}^J x_{3j} = R_3 & \sum_{i=1}^I x_{i3} = K_3 \\ \vdots & \vdots \\ \sum_{j=1}^J x_{ij} = R_i & \sum_{i=1}^I x_{ij} = K_j \end{array}$$

Echter, de empirische resultaten bij dit type model waren niet bevredigend. Een mogelijke verklaring zou kunnen zijn dat de markt niet op een kostenminimalisatie-strategie berust (Blauwens, et al., 2012). Volgens Ortúzar en Willumsen (1994) is lineair programmeren eerder aangewezen om het gedrag van een enkele klant of een industriële firma te voorspellen.

	Attractie				
Productie	1	2	3	4	
1		60	275	571	906
2	50		410	443	903
3	123	61		47	231
4	205	265	75		545
	378	386	760	1061	

Figuur 3: De OD-matrix na de distributie stap (Ortúzar en Willumsen, 1994)

2.1.4.3 Modal split

In deze stap worden de goederenstromen toegewezen aan de transportmodi. Het aandeel van elke transportmodus in de goederentransport wordt onder variërende marktomstandigheden berekend.

In deze stap wordt de beslissing genomen door de verzender. Deze beslissing is afhankelijk van de gehanteerde tarieven door de verschillende modi, die op hun beurt afhankelijk zijn van het volume getransporteerd tussen twee zones. Door de interacties bij de moduskeuze zullen de modellen voor modal split in het geval van goederentransport meer gesofisticeerd moeten zijn dan in het geval van personenvervoer. Dit probleem wordt vaak genegeerd door modellen gebaseerd op geaggregeerde data. In de literatuur werden zowel geaggregeerde als gedissaggregeerde modellen teruggevonden (Ortúzar en Willumsen, 1994; de Jong, et al., 2004).

Beagan et al. (2008) bespreken vier factoren die van invloed zijn bij de moduskeuze, bij iedere factor worden enkele voorbeelden gegeven:

1. Karakteristieken van de verzonden goederen:

Hieronder vallen onder andere de waarde van het product, de lotgrootte en het productsoort.

2. Karakteristieken van het voertuig:

Voorbeelden van karakteristieken van het voertuig zijn de snelheid, de betrouwbaarheid en de capaciteit van het voertuig.

3. Totale logistieke kost:

Dit zijn de voorraadkosten en de transportkosten.

4. Algemene logistieke karakteristieken:

Hieronder vallen de afstand tussen herkomstplaats en bestemmingszone alsook de leverfrequentie.

Uit bovenstaande factoren blijkt dat logistieke beslissingen een invloed hebben op de moduskeuze. Deze beslissingen zoals de leverfrequentie, de lotgrootte, de ladingen die terugkomen en de benuttingsgraad kunnen in een extra logistieke module worden opgenomen. Vaste conversiefactoren kunnen ook gebruikt worden om deze logistieke beslissingen op te nemen in het model (De Jong, et al. 2004).

Vernimmen en Witlox (2003) halen aan dat bij de moduskeuze niet enkel naar de transportkosten gekeken moet worden, maar naar alle kosten in de waardeketen die beïnvloed worden door de moduskeuze. Hij spreekt in dit geval over de totale logistieke kost. De totale logistieke kost bestaat uit de transportkosten en de voorraadkosten. De voorraadkosten kunnen verder opgedeeld worden in orderkosten, voorraadkosten van goederen in transit, cyclische voorraadkosten en kosten van de veiligheidsvoorraad.

Dit is een cruciale stap in het beslissingsproces van de transportsector. Meestal worden de oplossingen voor mobiliteitsproblemen gezocht in de moduskeuze. Interventies in de productie en attractie stap of de distributie stap zouden onmiddellijk een effect uitoefenen op de economische omgeving aangezien men in deze stappen denkt in termen van consumptie en productie. Een interventie in de moduskeuze heeft enkel een invloed op de manier van verzenden en zal, op korte termijn, leiden tot een efficiënter gebruik van de bestaande capaciteit. Op lange termijn zal men wel genoodzaakt zijn investeringen te doen in het transportsysteem om te voorkomen dat de groei van de economie niet gehinderd wordt (Blauwens, et al., 2012).

2.1.4.4 Toewijzing

Na het converteren van de goederenstroom in ton per goed aan de vervoerswijze in de modal split, kan de goederenstroom toegewezen worden aan een transportnetwerk.

Deze stap is een beslissing van de transporteur; hij maakt de keuze voor de beste route om de goederen te vervoeren van herkomst naar de bestemming. Er zijn vaak verschillende routes mogelijk tussen een herkomst en een bestemming, zelfs indien men slechts één vervoerwijze in beschouwing neemt (Immers en Stada, 2011).

De algoritmes voor de toewijzing van het goederentransport zijn dikwijls dezelfde als voor personenvervoer. Goederenvervoer zal slechts een kleiner percentage innemen van het totale verkeer. Zo melden de Jong et al. (2004) dat om deze reden de toewijzing van goederentransport en personenvervoer vaak samen wordt gedaan. Wel zijn er enkele aandachtspunten voor de toewijzing van het goederentransport en het personenvervoer aan hetzelfde netwerk (Button en Hensher, 2005):

- vrachtwagens hebben een groter effect op het verkeer en de congestie dan een gelijk aantal auto's, daarom moeten vrachtwagens omgezet worden naar een equivalent aantal auto's;
- goederentransport en personenvervoer apart toewijzen aan een netwerk om ze vervolgens bij elkaar op te tellen, zal leiden tot foutieve resultaten.

2.1.5 Het ADA model

Het ADA model van Ben-Akiva en de Jong (2008) staat voor aggregate-dissaggregate-aggregate model. In dit model worden de logistieke beslissingen in een gedissaggregeerde module opgenomen. De attributen van de beslissingsnemers worden opgenomen en de logistieke keuzes kunnen gemodelleerd worden op het niveau van de eigenlijke beslissingsnemer.

Het ADA model is een goederenmodel op internationaal, nationaal of regionaal niveau. Dergelijke modellen worden voor verschillende doelen gebruikt (Ben-Akiva en de Jong, 2008):

- Voorspellen van de transportvraag op middellange en lange termijn onder verschillende scenario's;
- Testen van transportbeleidsbeslissingen;
- Schatten van de impact van een nieuwe infrastructuur op vervoer.

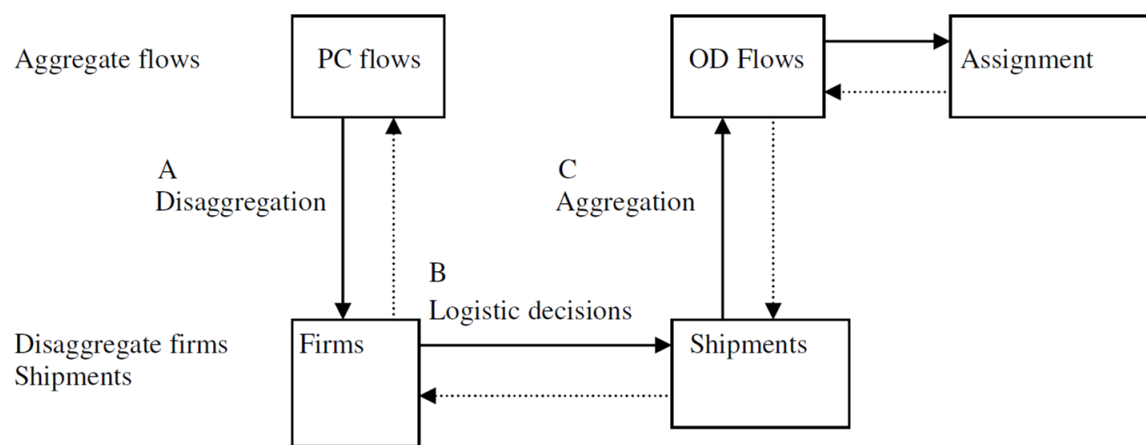
In dit model bepaalt men de moduskeuze die het beste met een bepaald voorraadniveau samengaat aan de hand van de totale logistieke kost. Het ADA model gebruikt de totale logistieke kost in de logistieke module om de 'transportketen keuze' te maken. Deze keuze bestaat uit de lotgrootte, de leveringsfrequentie, het aantal delen in de transportketen, de transportmodus en voertuigtype (Maes, et al., 2010).

2.1.5.1 Structuur van het ADA model

Het ADA model bestaat uit drie modules: twee geaggregeerde modules en tussen beide één gedissaggregeerde module.

De eerste module geeft de productie tot consumptie (PC) stromen. De tweede module verklaart de keuze van de lotgrootte en de transportketen, waaronder de moduskeuze per deel van de transportketen. In de derde module vindt de netwerktoewijzing plaats. Omwille van de beperkte beschikbaarheid van data worden voor de eerste en derde module geaggregeerde modellen gebruikt. De tweede module is een gedisaggregeerd model op niveau van het bedrijf, de beslissingsnemer in goederentransport.

Figuur 4 geeft schematisch de structuur weer van het ADA model. In het bovenste gedeelte van de figuur vinden we de geaggregeerde modellen terug, in het onderste deel zien we het gedisaggregeerde logistiek model.



Figuur 4: de structuur van het ADA model (Ben-Akiva en de Jong, 2008)

1.5.1.1 Productie en consumptie stromen

Allereerst worden de goederenstromen tussen de productie zones (P) en de consumptie zones (C) bepaald. Het model dat men hiertoe gebruikt baseert zich gewoonlijk op economische statistieken die enkel beschikbaar zijn op geaggregeerd niveau:

- Input-output statistieken;
- Productie en consumptie statistieken per economische sector;
- Statistieken van internationale handel.

De output die het model genereert is uitgedrukt in ton per goederensoort.

1.5.1.2 Logistieke module

Vervolgens dienen de productie- en consumptiestromen als input voor de logistieke module. Het logistieke model dient te bepalen welke stromen via direct transport en welke via een tussenstation (luchthaven, distributiecentra, haven, spoorwegterminals) naar de eindbestemming gaan. Daarnaast geeft het ook aan welke modi en voertuigtypes gebruikt zijn. Het logistieke model bestaat uit drie stappen:

- Disaggregatie naar stromen tussen bedrijven;
- Logistieke beslissingen op gedisaggregeerd niveau;
- Aggregatie naar stromen tussen zones.

Disaggregatie naar stromen tussen bedrijven

Dit is een inleidende stap zodat logistieke keuzes op beslissingsnemersniveau kunnen worden genomen. Er zullen gedisaggregeerde zakenrelaties tussen verzender en ontvanger gecreëerd worden. Elke relatie heeft nu een jaarlijkse goederenstroom in ton per type goed. Deze stap maakt het met andere woorden mogelijk om handel tussen bedrijven te modelleren.

De geobserveerde proporties van de bedrijven en het register van bedrijfsvestigingen worden gebruikt voor de allocatie van de goederenstromen (in ton) tussen de zones naar goederenstromen tussen de individuele bedrijven.

Logistieke beslissingen op gedisaggregeerd niveau

De logistieke beslissingen worden afgeleid door het minimaliseren van de totale logistieke kost. Voor elke relatie, gecreëerd in de vorige stap, worden er logistieke beslissingen gesimuleerd .

De logistieke beslissingen die in deze stap worden genomen, zijn:

- Frequentie en de lotgrootte;
- Keuze van de laadeenheid;
- Gebruik van distributiecentra, vrachtterminals, havens en luchthavens (de locaties worden als gegeven beschouwd);
- Modus per deel van de transportketen.

Het basismechanisme in het model voor het nemen van deze logistieke beslissingen is het minimaliseren van de totale logistieke kost. Ben-Akiva en de Jong (2008) formuleren de totale jaarlijkse logistieke kost G van een goed k , getransporteerd van bedrijf m in productie zone r naar bedrijf n in consumptie zone s met lotgrootte q en transportketen l , als:

$$G_{rskmnl} = O_{kq} + T_{rskql} + D_k + Y_{rskl} + I_{kq} + K_{kq} + Z_{rskq}$$

met

G als de totale jaarlijkse logistieke kost;

O als de orderkosten;

T als de transport-, consolidatie-, en distributiekosten;

D als de kapitaalkosten van goederen in transit;

I als de voorraadkosten;

K als de kapitaalkosten van de voorraad;

Z als de stock-out kosten.

Aggregatie naar stromen tussen zones

De OD-stromen tussen bedrijven worden vervolgens door aggregatie omgezet in OD-stromen tussen zones. Ladingen van hetzelfde goederensoort worden geaggregeerd. Deze gegevens worden uitgedrukt in voertuigstromen per OD paar en dienen als input voor het netwerktoewijzingsmodel.

Het model houdt ook rekening met lege vrachtwagens: een percentage van het aantal geladen trips (uit voorgaande berekeningen) wordt verondersteld leeg terug te keren.

De logistieke module neemt PC-stromen als input. Hierdoor zal belangrijke informatie betreffende economische relaties niet verloren gaan. Aspecten als veranderingen in de vraag, nationale en internationale handelspatronen en de structuur van de economie hebben immers een directe impact op de productie en consumptie patronen. Tevens zijn de gegevens over economische transacties uitgedrukt in termen van PC-stromen en niet in termen van OD-stromen.

De logistieke module produceert OD-stromen als output. Het toewijzen van PC-stromen aan het transportnetwerk zou niet correct zijn. Niet alleen zal de toewijzing van OD-stromen nauwkeuriger zijn, ook zijn de beschikbare gegevens voor transportstromen op OD-niveau en niet op PC-niveau.

1.5.1.3 Toewijzing

De laatste stap is de toewijzing van de geaggregeerde stromen tussen zones aan het netwerk. Een geaggregeerd netwerktoewijzingsmodel zal de OD-stromen tussen zones toewijzen aan de netwerken van de verschillende modi.

2.1.6 Het goederenmodel van Liedtke

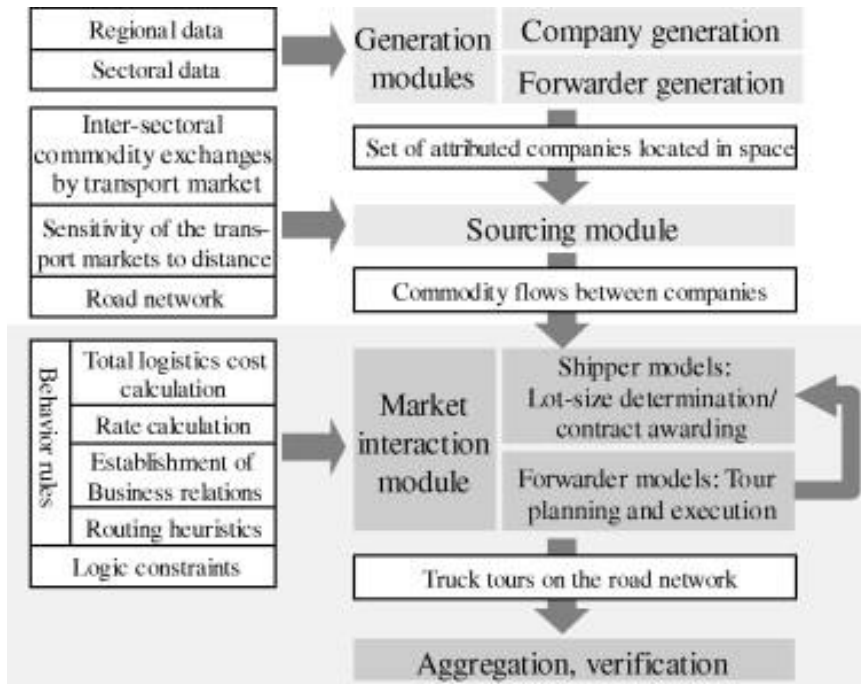
Liedtke beschrijft een methode voor het modelleren van logistieke processen en transportsystemen op micro-economisch niveau. Het model hanteert een bottom-up aanpak waarin logistieke structuren gecreëerd worden door simulatie. Op basis van verzamelde marktkennis en door gebruik van deze logistieke structuren wordt het gedrag van de individuele actoren gesimuleerd. Liedtke (2009) heeft het interlog-simulatie model toegepast op het nationale lange-afstandstransport van Duitsland. Het doel van de gedragsexperimenten is het bestuderen van de feedback effecten en de aangepaste reacties op beleidsmetingen.

Verzenders zijn de meest invloedrijke beslissingsnemers: ze nemen beslissingen over lotgrootte, het tijdvenster en andere benodigdheden die van invloed zijn op de moduskeuze en de routeconstructie. De transportsystemen worden beïnvloed door de strategische interactie tussen de verzenders en de forwarders waardoor het niet mogelijk is om beide kanten van de transportmarkt apart te bestuderen. Met de bottom-up aanpak zal de interactie tussen de verzenders en de forwarders gesimuleerd kunnen worden. Dit doen ze door veilingen van transportcontracten te simuleren en zo routes te genereren.

Het model bestaat uit exogene en endogene variabelen. De endogene variabelen worden beïnvloed door de interne dynamiek van het model. Het model bestaat uit verschillende op activiteiten gebaseerde submodellen waarin het genereren van bedrijven, de leverancierskeuze, de lotgrootte keuze, de transporteur keuze alsook de routeconstructie beschreven worden.

2.1.6.1 Structuur

Met het interlog-simulatie model worden de simulaties gedaan. Figuur 5 geeft de structuur van het model weer. Elk model kan onderverdeeld worden in drie modules: de generatiemodule, de sourcing module en de marktinteractie module.



Figuur 5: de structuur van het interlog model van Liedtke (Liedtke, 2009)

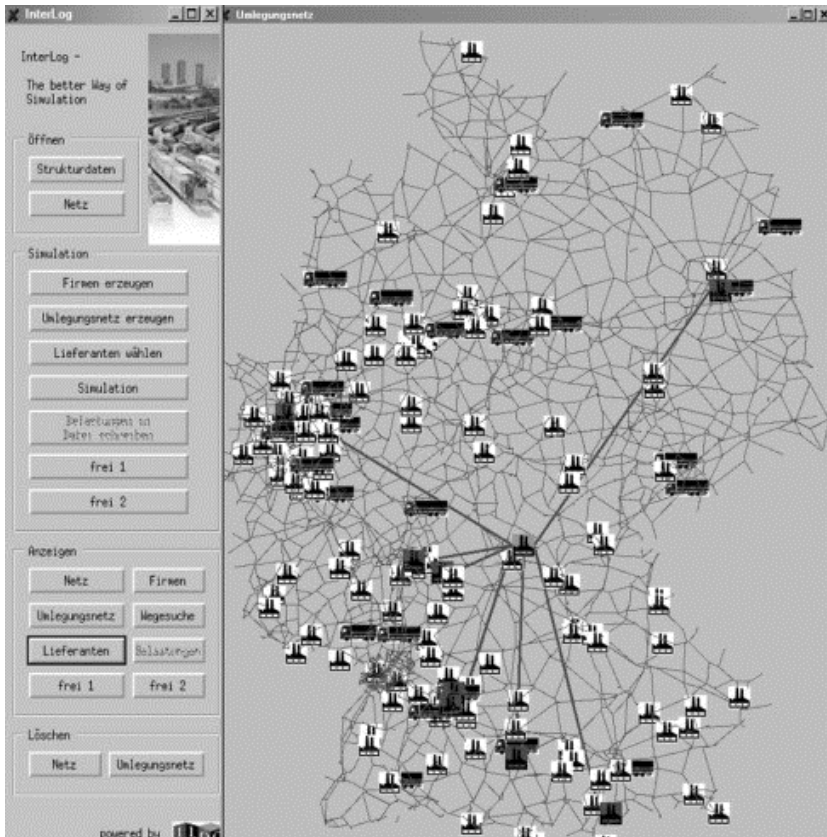
2.1.6.1.1 Generatiemodule

In de generatiemodule worden locatiepatronen van heterogene bedrijven in het studiegebied gecreëerd. De module produceert een 'verkleinde' industriële wereld met verzenders, ontvangers en transportbedrijven. De verschillende bedrijven hebben elk een status die gekenmerkt wordt door hun economische activiteit, het aantal werknemers en de locatie. Op basis van statistische informatie wordt door een Monte Carlo algoritme het locatiepatroon van de verschillende actoren geproduceerd.

Statistische gegevens over de verdeling van de grootte van de bedrijven op nationaal niveau en gegevens over de werkgelegenheid per sector en regio dienen als input van deze module. Liedtke stelt de volgende procedure voor:

1. Stapsgewijs genereert een Monte Carlo algoritme bedrijf per bedrijf;
2. De grootte van het bedrijf wordt bepaald;
3. Een branch-and-bound algoritme plaatst elk bedrijf in een geografische zone op basis van een hiërarchisch zoneringsstelsel. Per tak zal het algoritme controleren of de grootte van het bedrijf kleiner is dan de structurele gegevens van deze regio.

Het resultaat van de generatiemodule is een ruimtelijke verdeling van bedrijven die kan gelinkt worden met de vraag en aanbod naar goederentransport (zie figuur 6).



Figuur 6: de interlog software geeft hier een visuele weergave van de gegenereerde bedrijven (Liedtke, 2009)

2.1.6.1.2 Sourcing module

In de sourcing module worden de leverancier-klant relaties opgebouwd. Eveneens zal de uitwisseling van goederenstromen (in ton per jaar) tussen de actoren van de transportvraagzijde bepaald worden op microniveau.

Allereerst wordt met een Monte Carlo algoritme een set leveranciers bepaald. De potentiële leveranciers worden gekozen aan de hand van de beschikbaarheid van hun product, transportkosten, communicatie, de kwetsbaarheid van de waardeketen (bepaald door de afstand) en de nuttigheid van het product (in figuur 6 worden voor één bedrijf verschillende leveranciers gekozen). Vervolgens worden de goederen verdeeld onder de leveranciers. Een Monte-Carlo onderzoek observeert automatisch de productie en attractie ratio beperkingen en zal de microscopische goederenstroom bepalen.

2.1.6.1.3 Marktinteractie module

Met een interactieve marktsimulatie zal men tenslotte goederenstromen omzetten in individuele leveringen. Deze leveringen worden toegewezen aan forwarders en de vrachtwagenroutes worden opgesteld. De actoren passen een kostenminimalisatie-strategie toe.

Door lokale marktinteracties te simuleren kan de coördinatie tussen de verschillende actoren in het model opgenomen worden. Deze simulatie gebeurt in twee stappen: eerst zullen tijdelijke stabiele overeenkomsten alsook zakenrelaties gecreëerd worden in de vorm van middellange termijncontracten tussen de verzenders en de forwarders. In deze transportcontracten zijn bepaalde voorwaarden opgenomen, waaronder: locatie (zowel laden als lossen), lotgrootte, leverfrequentie, tijdsvenster, en gewicht. De optimale lotgrootte bepalen de verzenders en de ontvangers samen op basis van de totale logistieke kostmethode.

De tweede stap bestaat uit de coördinatie van het transportcontract door routeplanning. Met een routeconstructieheuristiek worden individuele vrachtroutes voor de forwarders gecreëerd en vervolgens toegevoegd aan het netwerk.

2.2 Consolidatie

Consolidatie, in de context van goederentransport, behelst het groeperen van individuele leveringen of deelladingen die bestemd zijn voor dezelfde locatie zodat een kleiner aantal volle ladingen getransporteerd worden naar hun bestemming. Het is een logistieke strategie die twee of meer orders bundelt zodat een grotere hoeveelheid goederen kan verzonden worden in hetzelfde voertuig (Ülkü, 2009).

Maurer (2008) haalt aan waarom consolidatie opgenomen moet worden in een nationaal goederenmodel. Consolidatie heeft een impact op de routekeuze en de moduskeuze. Deze logistieke beslissingen hebben een invloed op het totale volume van goederentransport en moeten dus opgenomen worden in een goederenmodel.

Consolidatie vindt plaats op verschillende niveaus (Schroeder, et al. 2011). Er is sprake van consolidatie op het niveau van de transportketen (distributie- of overslagcentrum) en op het niveau van voertuigroutes. Schaalvoordelen kunnen dus gehaald worden in logistieke faciliteiten alsook in voertuigen zelf. Deze twee niveaus kunnen niet los van elkaar gezien worden.

Het consolidatieproces wordt gewoonlijk gemodelleerd aan de hand van de volgende beslissingen: transportketen keuze; moduskeuze; voertuig routing en planning (Schroeder, et al. 2012).

2.2.1 Consolidatie methode

Consolidatiestrategieën zijn van fundamenteel belang bij het plannen van de leveringen. In het logistieke systeem kan men de leveringen onafhankelijk van elkaar plannen of men kan proberen schaalvoordelen te halen door combinaties van verschillende leveringen te vormen (Artiba en Elmaghraby, 1996).

Fang (2006) heeft het over drie consolidatiemethodes: ruimtelijke consolidatie, product consolidatie en tijdelijke consolidatie.

Ruimtelijke consolidatie betreft het consolideren van producten afkomstig van verschillende locaties die verzonden worden naar een zelfde bestemming. *Product consolidatie* betreft het bundelen van verschillende producten en/of verschillende transportcategorieën van dezelfde oorsprong in één levering. De verschillende orders, mogelijk van verschillende leveranciers, worden dus geconsolideerd aan de oorsprong en worden vervolgens direct geleverd aan de klant. Een voorbeeld hiervan is cross-docking, waar de verschillende goederen na aankomst onmiddellijk worden geconsolideerd en vervolgens direct verzonden worden. Op deze manier wil men een minimale voorraad aanhouden alsook de klantenservice verbeteren. *Tijdelijke consolidatie* zal de leveringen een bepaalde tijd bijhouden tot een groter volume kan verzonden worden. Twee vaak

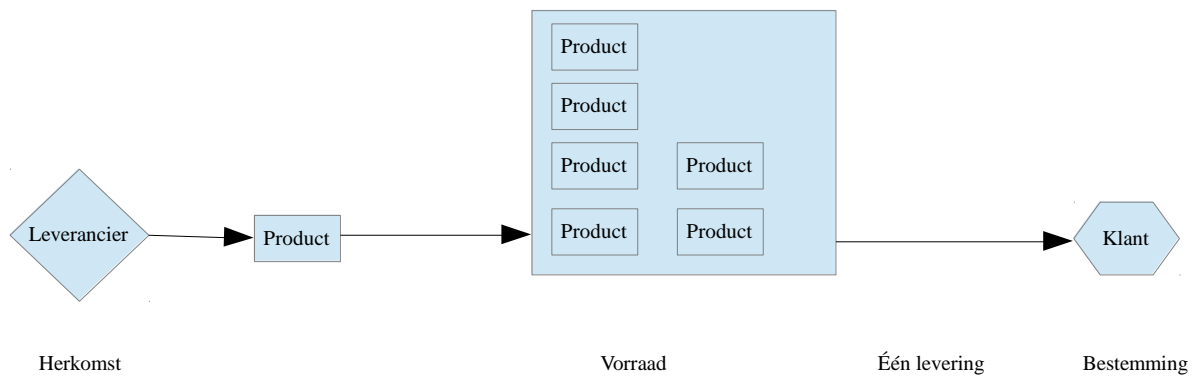
toegepaste vormen van tijdelijke consolidatie zijn time-based consolidatie en quantity-based consolidatie. Hierop komen we later in dit hoofdstuk nog terug.

2.2.2 Consolidatie type

Op basis van combinaties van de bovenstaande consolidatiemethodes kwam Hall (1987) tot drie consolidatie types:

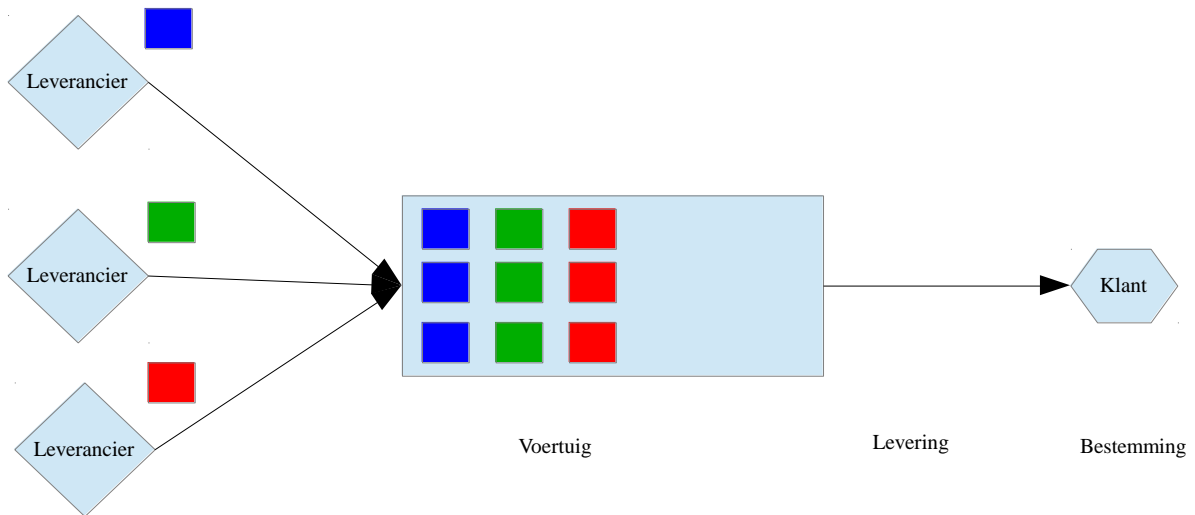
- consolidatie van voorraad;
- consolidatie in voertuigen;
- consolidatie in terminals.

De consolidatie van de voorraad (zie figuur 7) baseert zich op de tijdelijke consolidatie methode. Dit is de eenvoudigste manier om te consolideren. De items die op een verschillend moment worden geproduceerd, worden samengebracht en opgeslagen om ze later in één lading te verzenden (Gonzales-Ramirez, et al., 2008). Deze verzending kan plaatsvinden bij het bereiken van een bepaalde hoeveelheid items of op een vooraf bepaald tijdstip. Een fundamenteel element bij de consolidatie van de voorraad is het zoeken naar de balans tussen de transportkost, de voorraadkost en het service level.



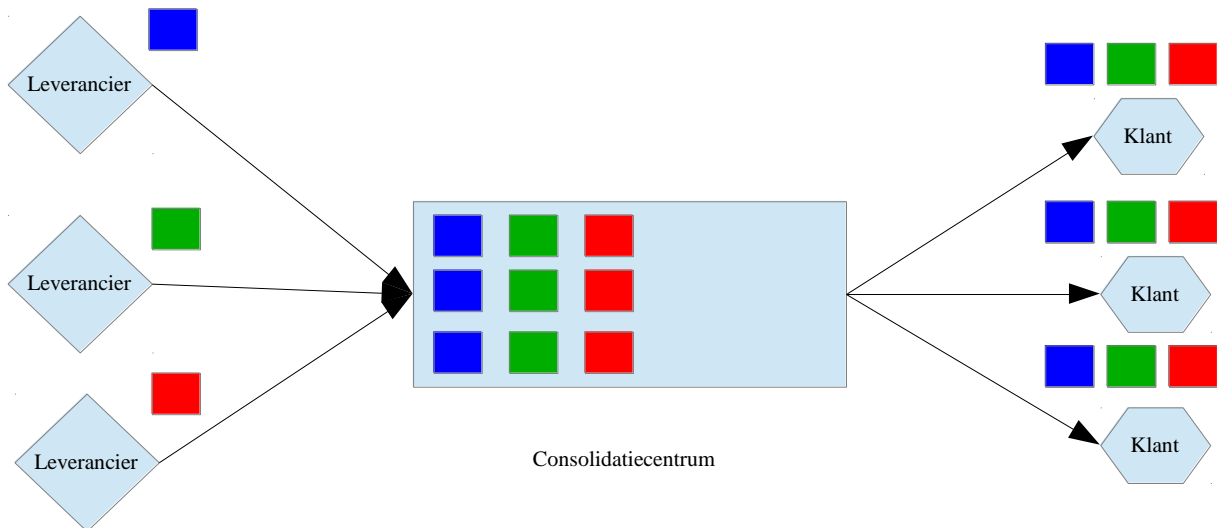
Figuur 7: consolidatie van de voorraad (Hall, 1987)

De consolidatie in voertuigen (zie figuur 8) vertrekt van de ruimtelijke consolidatie methode. Items worden op verschillende herkomstplaatsen geladen en op verschillende bestemmingen gelost (Gonzales-Ramirez, et al., 2008). Hoe meer items per route, hoe lager de transportkosten per item zullen liggen. Essentieel bij de consolidatie in voertuigen zijn de beslissingen over het aantal stoppunten alsook de tijd tussen twee routes. Bij een stijging van beide of één van beide zullen de transportkosten per items dalen maar zal de klantenservice ook afnemen.



Figuur 8: consolidatie in voertuigen (Hall, 1987)

De *consolidatie in terminals* (zie figuur 9) berust op de ruimtelijke en tijdelijke consolidatie methode. Items afkomstig uit verschillende herkomstplaatsen worden gesorteerd in consolidatiecentra om vervolgens aan verschillende bestemmingen geleverd te worden (Gonzales-Ramirez, et al., 2008). De consolidatie in terminals zal het aantal routes in het transport systeem significant verminderen.



Figuur 9: consolidatie in terminal (Hall, 1987)

2.2.3 Consolidatiecentrum

De Jong et al. (2010) definiëren consolidatiecentra als locaties waar goederen worden overgeladen en mogelijk opgeslagen. Kleine ladingen komen binnen terwijl grotere ladingen het consolidatiecentrum verlaten. Consolidatiecentra bestaan zowel op het platteland als aan luchthavens, havens of spoorterminals. Volgens Browne et al. (2005) kan het consolidatiecentrum concept worden geïnterpreteerd als: een publiek distributiemagazijn, een centraal punt waar goederen gesorteerd worden, een goederen overslagcentrum, een logistiek centrum en een coöperatief leveringssysteem.

De locatie van het consolidatiecentrum in relatie met de doelgroep zal belangrijke gevolgen hebben voor het verkeer en de omgeving alsook de commerciële voordelen voor de bedrijven die gebruik maken van het consolidatiecentrum (Fell, et al., 2010). Locatieproblemen duiken dan ook vaak op in veel ontwerpproblemen. Men tracht de betere locatie van de faciliteit te bepalen door beroep te doen op afstandsmetingen (Gonzales-Ramirez, et al., 2008).

2.2.4 Consolidatiebeleid

Door het gepaste consolidatiebeleid toe te passen kunnen de kosten van een logistieke keten reëel afnemen. Het gepaste consolidatiebeleid is afhankelijk van de werkomgeving van de klant, de karakteristieken van de bestelling alsook de mogelijkheden van het consoliderende bedrijf. De fundamentele beslissing van een consolidatiebeleid is echter het tijdstip bepalen wanneer de goederen verzonden moeten worden (Ülkü, 2012).

Higginson en Bookbinder (1994) geven drie mogelijke keuzes betreft het verzenden van de goederen op het moment dat een order binnenkomt:

- de goederen meteen verzenden en niet consolideren
- de goederen meteen verzenden als deellading van een geconsolideerde lading
- de verzending van de goederen uitstellen om ze later te consolideren.

De keuze is afhankelijk van de niet verzonden orders en verwachte toekomstige orders, het managementbeleid, de bedrijfsdoelstellingen, de instructies van de klant (leverdatum, vervaldatum, leveringsinstructies), de geografische bestemming, de productkarakteristieken (producttype, gewicht, volume, verpakking), de transportkarakteristieken (vervoerswijze, tijd, tijdvariatie, schade, capaciteit) en de totale logistieke kost.

De drie populairste vormen van consolidatiebeleid zijn volgens Mutlu et al. (2010) quantity-based, time-based en time-and-quality-based consolidatiebeleid. De uitdaging is een beleid te

ontwikkelen dat nog steeds een goede klantenservice voorziet aan de klanten wiens order als eerste geplaatst werd (Ülkü, 2009).

Bij *quantity-based beleid* worden de klantenorders gecombineerd totdat een bepaalde hoeveelheid goederen bereikt is. Op deze manier is men verzekerd van schaalvoordelen.

Bij *time-based beleid* zal men na een bepaalde periode steeds de geconsolideerde lading verzenden. Enkel de orders die ontvangen zijn voor dit tijdstip worden opgenomen in de geconsolideerde lading.

Bij *time-and-quantity-based beleid* worden bovenstaande vormen van consolidatiebeleid gecombineerd. Het beleid wordt door twee parameters bepaald, namelijk een gewenste ladinghoeveelheid en een maximum wachttijd. Indien de gewenste ladinghoeveelheid bereikt is of indien een voorafbepaalde periode is verstreken is, zal de geconsolideerde lading verzonden worden.

Het time-and-quantity-based beleid heeft een schaalvoordeel zoals het quantity-based consolidatiebeleid. Tevens zullen de leveringen tijdig geschieden zoals bij het time-based consolidatiebeleid (Mutlu, et al., 2010).

2.2.5 Kostenallocatie

Door consolidatie kunnen bedrijven van schaalvoordelen genieten. De kostenbesparing die gepaard gaat met consolideren van ladingen moet verdeeld worden onder de bedrijven. In de literatuur wordt coöperatieve 'game theory' of speltheorie vaak aangehaald als men het heeft over kostenallocatie (Audy et al., 2010).

2.2.5.1 Coöperatieve speltheorie

In het geval van coöperatieve speltheorie zijn er volgens Hajduková (2006) twee fundamentele vragen die beantwoord moeten worden:

1. Welke coalities kunnen gevormd worden?
2. Hoe zullen de deelnemers van de coalitie hun gemeenschappelijke winst onder elkaar verdelen?

Voor consolidatie betekent dit dat per bedrijf moet gekeken worden welke mogelijkheden zij hebben om te consolideren. Vervolgens zullen de deelnemers tot een overeenkomst moeten komen om de kostenbesparing te verdelen.

Volgens Heijboer (2004) moeten de kostenallocatiemethodes voldoen aan bepaalde eigenschappen alvorens ze succesvol kunnen zijn. De eerste eigenschap waaraan de methode moet voldoen om succesvol te zijn is *efficiëntie*. De totale kostenbesparing moet verdeeld worden onder de

deelnemers van de coalitie. De tweede eigenschap is *symmetrie*. Indien twee deelnemers hun bijdrage in de coalitie identiek is, moeten ze dezelfde vergoeding krijgen. Ook mag een deelnemer die geen bijdrage levert geen vergoeding krijgen (*nul-allocatie voor nul-speler*). Deze eigenschap geldt ook als de deelnemer bij een bepaald deel van de coalitie geen bijdrage levert (nu-allocatie voor dat deel van de coalitie). Een vierde eigenschap is *toevoeging*. Indien twee coalities samengenomen worden, zal de totale kostenbesparing gelijk zijn aan de som van de vergoeding van beide individueel. De laatste twee eigenschappen duiden op de opportuniteiten van de deelnemers van de coalitie. Zo moet elke deelnemer minstens evenveel vergoed worden als bij een rechtstreekse levering (*individuele rationaliteit*). En er mag ook voor geen enkele deelnemer een betere coalities bestaan dan deze coalitie (*stabiliteit*).

2.2.5.1.1 Shapley-value methode:

De meest gebruikte allocatiemethode is volgens Audy et al. (2010) de Shapley-value methode. Deze methode kan geïnterpreteerd worden als de gemiddelde marginale contributie van elke deelnemer. Deze methode voldoet steeds aan minstens vier van de zes bovenstaande eigenschappen: efficiëntie, symmetrie, nul-allocatie voor nul-speler en toevoeging. De laatste twee eigenschappen is afhankelijk van de situatie.

2.2.6 Voor- en nadelen van consolidatie

Consolidatie resulteert in schaalvoordelen (Roorda, et al., 2010; Ford, 2001; Ülkü, 2009). Substantiële kosten uit de logistieke keten zullen immers afnemen (Ülkü, 2009). Zo zal de transportkost per eenheid significant lager liggen doordat benuttingsgraad van de vrachtwagens hoger zal liggen. Hierdoor worden eveneens grotere economische voertuigen gebruikt en zullen er minder lege vrachtwagens zijn (Roorda, et al., 2010). De order kost zal ook lager liggen: orders worden gebundeld in één grote lading waardoor de geaggregeerde orderkost lager zal liggen dan de som van de individuele order kosten (Vernimmen en Witlox, 2003).

Het eerste doel van de meeste fabrikanten bij het toepassen van consolidatiestrategieën zal *kostenreductie* zijn. Bedrijven willen immers hun kosten minimaliseren om op die manier een zo hoog mogelijke winst te bekomen. Hiervoor richten bedrijven hun aandacht meer en meer op het optimaliseren van de distributieketen. De efficiëntie van de distributieketen zal verhogen door consolidatie (Marinov, et al. 2008). De producten zullen sneller door de distributieketen gaan (Conway en Gorman, 2004; Ford, 2001). Ook zal de transport van geconsolideerde ladingen gepaard gaan met een hogere betrouwbaarheid, daar de variantie van de transporttijd minder groot is bij volle ladingen (Ford, 2001).

Efficiëntie transportsystemen bieden niet alleen economische maar ook sociale voordelen (Fell, et al., 2010). Aangezien het aantal vrachtwagens in het verkeer zal gereduceerd worden, zal de luchtkwaliteit in de omgeving erop vooruit gaan. De CO2 uitstoot en de verkeerscongestie zullen afnemen. Bovendien kunnen bedrijven hierdoor hun sociale verantwoordelijkheid nemen (Marinov, et al. 2008).

Naast de vele voordelen worden in de literatuur ook enkele nadelen vermeld. Zo zal bij de constructie van een consolidatiecentrum een grote investering moeten gedaan worden (Conway en Gorman, 2004). Aangezien een extra stap is toegevoegd in de logistieke keten, zullen de verwerkingskosten ook de hoogte in gaan (Conway en Gorman, 2004). Er zullen regels opgesteld moeten worden en een netwerkanalyse zal moeten uitgevoerd worden. De coördinatiekosten zullen dus ook stijgen (Ford, 2001). Bovendien meldt Ford (2001) dat tijdelijke consolidatie tijd kost en de voordelen van consolidatie bijgevolg zullen afgewogen moeten worden tegen de waarde van tijd.

Deel 3: Praktijkgedeelte

3.1 Inleiding:

Huidige logistieke trends moeten door de publieke en de private beslissingsnemers in acht genomen worden om een beter beeld te kunnen vormen van de goederenstromen. Het opnemen van dergelijke trends is dus belangrijk om voorspellingen te maken over goederenstromen alsook de impact te berekenen van een beleidskeuze. Consolidatie is zo een trend. In het praktijkgedeelte wordt onderzocht hoe wegconsolidatie in een goederenmodel kan worden opgenomen.

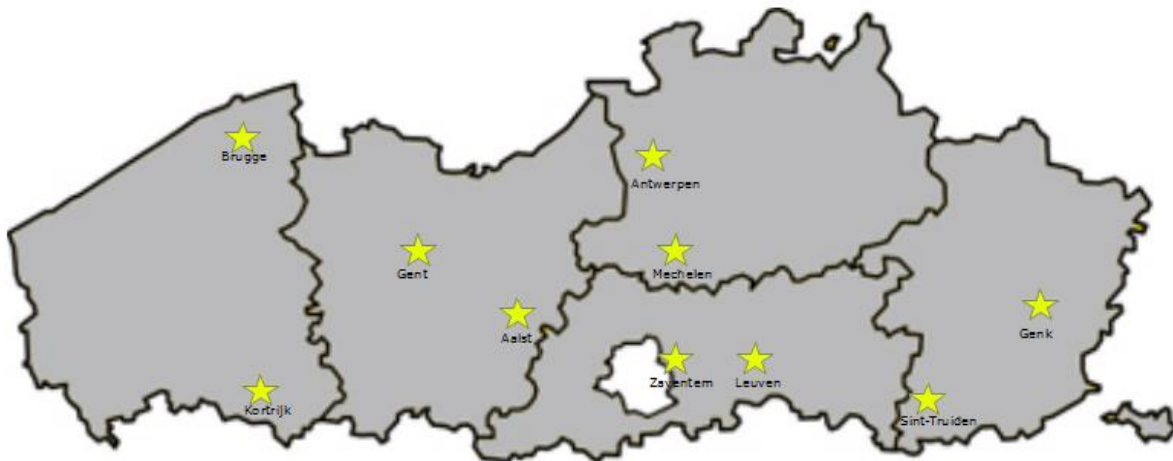
Hiervoor wordt een simulatiemodel voor Vlaanderen gebruikt. In het simulatiemodel zal enkel gekeken worden naar wegtransport. Bijgevolg zullen er slechts twee transportmodi relevant zijn voor dit onderzoek, namelijk wegtransport klein en wegtansport groot. Deze twee transportmodi worden meer in detail besproken in sectie 4.1.1 en sectie 4.1.2.

Het simulatiemodel is opgebouwd uit vier stappen: productie en attractie, distributie, logistieke transportbeslissingen en netwerktoewijzing. De derde stap zal nader bekeken worden aangezien in deze stap ook de beslissingen omtrent het toepassen van consolidatie worden genomen. In deze stap zal de werkwijze van het ADA-model toegepast worden. Op deze manier kunnen de logistieke beslissingen op gedisaggregeerd niveau opgenomen worden.

Net zoals in het ADA model zal er gekeken worden naar de totale logistieke kost. De totale logistieke kost van de verschillende links zal berekend worden voor de verschillende transportketens. Vervolgens wordt gekeken welke optie het voordeligste is voor het desbetreffende bedrijf.

3.2 Omschrijving simulatiemodel

Het simulatiemodel wordt toegepast op Vlaanderen. Vlaanderen heeft een ideale positie voor logistieke activiteiten door de centrale ligging in Europa. Vlaanderen bevat 308 gemeenten. Deze worden gebruikt om de regio op te delen in zones. Voor deze masterproef worden 10 van de 308 zones geselecteerd om zo de berekeningen te vereenvoudigen (zie figuur 10).



Figuur 10: de geselecteerde zones in Vlaanderen

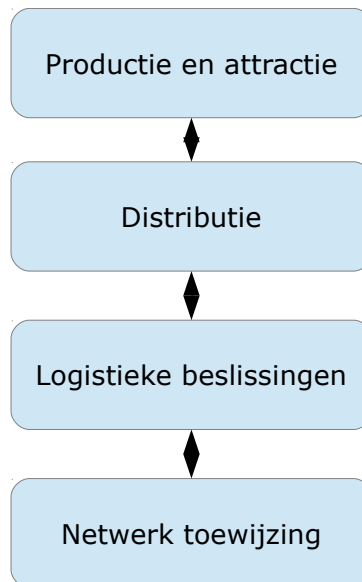
Tussen twee zones zal slechts een fractie van alle potentiële relaties tussen zender en ontvanger van een goederensoort werkelijk gerealiseerd worden. Tussen de 10 gemeentes bestaan er 934 gerealiseerde links (zie bijlage A). Van deze 934 links worden random 53 links proportioneel geselecteerd om zo het rekenwerk te beperken. Deze 53 links worden getoond in tabel 1.

Gebruikte links										
	Genk	St.-Truiden	Antwerpen	Mechelen	Leuven	Zaventem	Gent	Aalst	Brugge	Kortrijk
Genk	0	0	1	1	0	1	0	0	0	1
St.-Truiden	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0
Antwerpen	1	1	0	2	2	1	4	1	2	1
Mechelen	0	0	3	0	0	1	0	1	0	0
Leuven	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0
Zaventem	1	0	2	1	0	0	1	0	0	0
Gent	0	0	3	0	1	2	0	1	2	0
Aalst	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0
Brugge	0	1	2	1	0	0	1	0	0	0
Kortrijk	1	0	1	0	0	1	0	0	1	0

Tabel 1: de geselecteerde links voor de masterproef

3.3 Logistieke transportbeslissingen

Het simulatiemodel voor Vlaanderen bevat de vier basistappen van goederenmodellen (zie figuur 11). Aangezien deze stappen reeds uitgebreid werden besproken in de literatuurstudie zal er enkel dieper ingegaan worden op de derde stap, namelijk de logistieke transportbeslissingen.



Figuur 11: : de vier stappen van het simulatiemodel (Maes, et al., 2011)

Als input zijn gegevens vereist over de netwerkstructuur van wegtransport klein en wegtransport groot en gegevens over de locatie van de terminals. Verder is er informatie nodig over de productieconsumptie-stromen tussen de verschillende zones. Deze stromen worden onderverdeeld in 9 verschillende NSTR³ goederencategorieën. De NSTR is een standaard goederenclassificatie voor goederentransport in Europa. Voor het simulatiemodel worden de PC-stromen van goederencategorie NSTR1 gebruikt (zie tabel 2).

PC NSTR 1										
van\naar	Genk	St.- Truiden	Antwerpen	Mechelen	Leuven	Zaventem	Gent	Aalst	Brugge	Kortrijk
Genk	1501,35	900,51	10695,85	1811,79	2103,06	662,89	5402,97	1815,97	2771,18	1751,91
St.- Truiden	791,25	474,59	5637	954,86	1108,37	349,36	2847,51	957,07	1460,49	923,3
Antwerpen	9950,74	5968,47	70890,73	12008,29	13938,83	4393,55	35810,19	12036,04	18367,02	11611,42
Mechelen	2629,5	1577,18	18733	3173,21	3683,36	1161	9462,9	3180,55	4853,52	3068,34
Leuven	3356,67	2013,34	23913,46	4050,74	4701,96	1482,07	12079,8	4060,1	6195,72	3916,86
Zaventem	3306,03	1982,96	23552,71	3989,63	4631,03	1459,71	11897,56	3998,85	6102,25	3857,77
Gent	7634,34	4579,1	54388,35	9212,93	10694,06	3370,79	27474,07	9234,22	14091,43	8908,44
Aalst	2397,23	1437,86	17078,26	2892,91	3358	1058,45	8627,02	2899,6	4424,79	2797,3
Brugge	2663,92	1597,83	18978,25	3214,76	3731,58	1176,2	9586,79	3222,18	4917,06	3108,51
Kortrijk	4927,73	2955,66	35105,98	5946,66	6902,68	2175,74	17733,65	5960,4	9095,58	5750,12

Tabel 2: de PC-stromen van goederencategorie NSTR1

3.3.1 Disaggregatie stap

Om de logistieke beslissingen te integreren in het simulatiemodel worden ze het best gemodelleerd op microscopisch niveau. Vandaar dat de data over de PC-stromen moet omgezet worden van geaggregeerd niveau naar gedisaggregeerd niveau. Ter illustratie de berekeningen van de bedrijf-naar-bedrijf stromen voor de link Gent-Leuven (zie tabel 3).

Voor de berekening van de stromen tussen bedrijven zal eerst gekeken worden naar de oorspronkelijke 934 links (bijlage A). Tussen Gent en Leuven zijn er tien oorspronkelijke links in het simulatiemodel. Per oorspronkelijke link tussen twee gemeentes wordt er random een getal toegekend tussen 0 en 10. Vervolgens zal er op basis van het toegekende getal een percentage worden bepaald voor iedere link. Nadien zal er random één of meerdere percentages gekozen worden, afhankelijk van het aantal gebruikte links (zie tabel 1). Dit percentage (10,34%) wordt tenslotte vermenigvuldigd met de geaggregeerde PC-stromen (zie tabel 2) om zo de bedrijf-naar-bedrijf stromen te bekomen.

³ Nomenclature uniforme des marchandises pour les Statistiques de Transport, Révisée

Gerealiseerde links	Random getallen	Percentage	Bedrijf-naar-bedrijf stromen
1	5	8,62%	
2	10	17,24%	
3	9	15,52%	
4	6	10,34%	10694,06 * 10,34% = 1106,282069 ton
5	6	10,34%	
6	4	6,90%	
7	7	12,07%	
8	3	5,17%	
9	5	8,62%	
10	3	5,17%	
TOTAAL	58	100,00%	

Tabel 3: berekening jaarlijkse bedrijf-naar-bedrijf stromen

3.3.2 Logistieke beslissingen aan de hand van de totale logistieke kost

Per link zijn er verschillende transportketens mogelijk doordat goederen gebundeld kunnen worden of doordat ze met een ander transportmodi vervoerd worden. Per transportketen kan vervolgens de totale logistieke kost berekend worden. Op basis van deze berekening kan dan de beste oplossing geselecteerd worden. De totale logistieke kost bestaat in dit model uit de volgende componenten (Maes, et al. 2011):

- Orderkost O ,
- Transportkost T ,
- Kapitaalkost van goederen in transit Y ,
- Voorraadkost I ,
- Kapitaalkost van goederen in voorraad K .

Hieruit kan de formule voor het berekenen van de totale logistieke kost per levering van goederensoort k getransporteerd van bedrijf m in zone r naar bedrijf n in zone s met verzendingsgrootte q van transportketen l afgeleid worden:

$$G_{rskmnl} = O_{kq} + T_{rskql} + Y_{rskl} + I_{kq} + K_{kq}$$

Uit deze formule kan opgemaakt worden dat al de kostencomponenten afhankelijk zijn van de goederencategorie. In het simulatiemodel van deze masterproef wordt er slechts één goederencategorie onderzocht, met deze variabele moet er dus geen rekening gehouden worden.

Een andere variabele die een invloed heeft op de totale logistieke kost, de verzendingsgrootte q , wordt eveneens vastgelegd.

De eerste kostcomponent is de orderkost O . Aangezien dit simulatiemodel de totale logistieke kost van één levering berekent, is de orderkost een vast bedrag o .

Voor het berekenen van de transportkost T wordt de volgende formule toegepast:

$$T = D * TC + q * (2 * L)$$

Met

D als afstand in kilometer,

TC als transportkost in euro per kilometer,

L als de laad-en loskost in euro per ton.

Hieruit kan opgemaakt worden dat de transportkost verschilt naargelang het voertuigtype aangezien de kostprijs voor wegtransport klein en wegtransport groot verschilt. De transportkosten worden enerzijds bepaald door de afstand die de goederen moeten afleggen in een bepaalde transportketen alsook het aantal keren de goederen geladen en gelost moeten worden.

De volgende kostencomponent is de kapitaalkost van de goederen in transit Y . Deze wordt bepaald aan de hand van de volgende formule:

$$Y = \frac{TT * d * v * q}{365 * 24}$$

Met

TT als totale tijd in uur,

d als verdisconteringsvoet op jaarbasis,

v als waarde van de goederen in euro per ton.

Voor het bepalen van de kapitaalkost van de goederen in transit moet er rekening gehouden worden met de totale tijd (TT). Dit omvat zowel de reistijd als de wachttijd tot de vrachtwagen beschikbaar is. In dit praktijkonderzoek zal de wachttijd van de vrachtwagens voor wegtransport klein lager zijn dan de wachttijd van de vrachtwagens voor wegtransport groot. Verder spelen de verdisconteringsvoet en de waarde van de goederen een rol.

Om de voorraadkost I te berekenen wordt gebruik gemaakt van de volgende formule:

$$I = \frac{\frac{q}{2} * w * v}{n}$$

Met

w als opslagkost op jaarbasis

n als het aantal leveringen per jaar.

De voorraadkost van één levering wordt berekend door de jaarlijkse voorraadkost te verdelen onder het aantal leveringen (aangezien er een gemiddelde lotgrootte wordt genomen die het hele jaar wordt toegepast).

De laatste kostencomponent is de kapitaalkost van de voorraad K:

$$K = \frac{\frac{q}{2} * d * v}{n}$$

Net als bij de voorraadkost wordt de kapitaalkost van de voorraad berekend door de jaarlijkse kapitaalkost van de voorraad te verdelen onder de verschillende leveringen.

Nadat de totale logistieke kost van de verschillende transportketens per link bepaald is, kan voor deze link de optimale transportketen gekozen worden. Dit is de transportketen met de laagste totale logistieke kost.

Tabel 4 geeft de waardes van enkele variabelen weer die een invloed hebben op de totale logistieke kost. De waarde van andere variabelen wordt later gegeven aangezien deze eigen zijn aan een voertuigtype.

Symbool	Beschrijving	Waarde
o	Orderkost	€55
q	Gemiddelde verzendingsgrootte	6 ton
i	Verdisconteringsvoet	4 %
v	Waarde goederen	€672 per ton
w	Opslagkosten	20%

Tabel 4: variabelen van de totale logistieke kost

Merk op dat een gemiddelde verzendingsgrootte van 6 ton is vastgelegd in deze masterproef. Op deze manier wordt wegconsolidatie mogelijk gemaakt. Ook de waarde van de goederen is een vast bedrag aangezien enkel de goederen NSTR1 worden gebruikt in deze masterproef.

3.4 Transportketens

In de volgende secties zullen de resultaten van het praktijkonderzoek besproken worden. Eerst zullen de berekeningen voor de directe links verduidelijkt worden om vervolgens dieper in te gaan op de verschillende consolidatiemogelijkheden in het wegtransport.

3.4.1 Directe links

Bij de directe links wordt een onderscheid gemaakt tussen wegtransport klein en wegtransport groot. Voor beide opties zal een voorbeeld uitgewerkt worden voor de link Gent-Leuven.

3.4.1.1 Wegtransport Klein

Tabel 5 geeft de algemene gegevens voor wegtransport klein:

Beschrijving	Waarde
Capaciteit	1.5 ton
Transportkosten	0.5 euro/km
Laad-en loskosten	1 euro per ton
Frequentie per week	50 vrachtwagens per week

Tabel 5: de algemene gegevens voor wegtransport klein

Om te onderzoeken welk voertuigtype de voorkeur zal genieten, moet de totale logistieke kost berekend te worden. Voor deze berekening zijn enkele gegevens nodig die specifiek voor deze link van toepassing zijn (zie tabel 6).

Symbool	Beschrijving	Waarde
Q	De jaarlijkse bedrijf-bedrijf goederenstroom	1106,2820 ton
D	Afstand	81,47 km
RT	Reistijd	0,9359235 uur

Tabel 6: specifieke gegevens van het voorbeeld Gent-Leuven

Op basis van bovenstaande gegevens kan de totale logistieke kost berekend worden voor de rechtstreekse link tussen Gent en Leuven.

De orderkost (O) is de vaste kost o van €55.

De transportkosten (T) zijn enerzijds afhankelijk van de kosten specifiek per voertuigtype alsook de afstand die het voertuig moet afleggen. Voor wegtransport klein zullen bij een verzendingsgrootte van 6 ton steeds vier vrachtwagens nodig zijn. Rekening houdend met de laad- en loskosten brengt dit de transportkosten op €174,940.

De kapitaalkost van de goederen in transit (Y) is afhankelijk van de verdisconteringsvoet en de waarde van de goederen alsook de tijd dat de goederen 'in transit' waren. De totale tijd die hiervoor moet berekend worden, is de som van de reistijd en de wachttijd. De wachttijd is de helft van de duurtijd tussen twee vrachtwagens en is bijgevolg voor alle rechtstreekse leveringen van wegtransport klein 1,68 uur. Met deze gegevens kan de kapitaalkost van de goederen in transit worden berekend: € 0,048.

De gegevens voor de voorraadkost (I) en de kapitaalkost van de voorraadkost (K) kunnen in de tabellen afgelezen worden en bijgevolg kunnen de voorraadkost en de kapitaalkost van de voorraadkost eenvoudig berekend worden:

$$I = \frac{\frac{q}{2} * w * v}{n} = €2,187$$

$$K = \frac{\frac{q}{2} * d * v}{n} = €0,4373568$$

Nu deze verschillende kostencomponenten bepaald zijn, kan de totale logistieke kost (G) berekend worden: €232,612.

Bovenstaande berekeningen worden samengevat in tabel 7:

Wegtransport klein	
O	€ 55,000
T	€ 174,940
Y	€ 0,048
I	€ 2,187
K	€ 0,4373568
G	€ 232,612

Tabel 7: berekeningen wegtransport klein

3.4.1.2 Wegtransport groot

Voor het wegtransport groot zullen enkele gegevens verschillend zijn met wegtransport klein, wat een invloed zal hebben op de totale logistieke kost. Tabel 8 geeft de algemene gegevens van wegtransport groot.

Beschrijving	Waarde
Capaciteit	27 ton
Transportkosten	1 euro/km
Laad-en loskosten	2 euro per ton
Frequentie per week	10 vrachtwagens per week

Tabel 8: algemene gegevens van wegtransport groot

Andere gegevens voor het berekenen van de totale logistieke kost worden getoond in tabel 9.

Symbool	Beschrijving	Waarde
Q	De jaarlijkse bedrijf-bedrijf goederenstroom	1106,2820 ton
D	Afstand	81,47 km
RT	Reistijd	1,008846333 uur

Tabel 9: specifieke gegevens van het voorbeeld Gent-Leuven

Vervolgens kan de totale logistieke kost voor de rechtstreekse link van Gent naar Leuven worden berekend.

De orderkost (O) is net als bij wegtransport klein € 55.

De transportkost (T) zal wel verschillend zijn van de transportkost bij wegtransport klein. Er is voor een verzendingsgrootte van 6 ton immers slechts één vrachtwagen nodig. Dit zal er voor zorgen dat de transportkost per kilometer lager zal liggen bij wegtransport groot. Echter, de laad- en loskosten zullen hoger liggen dan bij wegtransport klein. Rekening houdend met deze verschillen, brengt dit de transportkosten op € 105,470.

Ook de kapitaalkost van de goederen in transit (Y) zal bij een groter voertuig verschillend zijn. Deze zal toenemen omdat de totale tijd (TT) ook is toegenomen. Het zal meer tijd in beslag nemen om de goederen van de ene zone tot de andere zone te vervoeren. Daarnaast zal de duurtijd tussen twee vrachtwagens ook hoger liggen aangezien er per week minder vrachtwagens uitrijden (en dus een lagere frequentie). Deze toename van de totale tijd zal leiden tot een kapitaalkost van de goederen in transit van € 0,173.

De voorraadkost (I) en de kapitaalkost van de voorraad (K) blijft ongewijzigd: € 2,187 en € 0,4373568.

De totale logistieke kost is voor de link Gent-Leuven € 163,267.

Bovenstaande berekeningen worden samengevat in tabel 10:

Wegtransport groot	
O	€ 55,000
T	€ 105,470
Y	€ 0,173
I	€ 2,187
K	€ 0,4373568
G	€ 163,267

Tabel 10: voorbeeld wegtransport groot

3.4.1.3 Conclusie

Om tot een besluit te komen, worden de gegevens met elkaar vergeleken in tabel 11:

	Wegtransport Klein	Wegtransport Groot
Orderkost	€ 55	€ 55
Transportkost	€ 174,940	€ 105,470
Kapitaalkost goederen in transit	€ 0,048	€ 0,173
Voorraadkost	€ 2,187	€ 2,187
Kapitaalkost goederen in voorraad	€ 0,437	€ 0,437
Totale logistieke kost	€ 232,612	€ 163,267

Tabel 11: vergelijking wegtransport klein en wegtransport groot

De totale logistieke kost is lager voor wegtransport groot dan voor wegtransport klein. Het verschil is voornamelijk te vinden in de transportkosten. In het geval van de gemiddelde verzendingsgrootte van 6 ton zal de transportkost steeds hoger liggen voor wegtransport klein indien de afstand tussen de verschillende zones groter is dan 12 kilometer:

$$T_{klein} = D * TC_{klein} + q * (2 * L_{klein})$$

&

$$T_{groot} = D * TC_{groot} + q * (2 * L_{groot})$$

$$T_{groot} = T_{klein}$$

$$D * TC_{groot} + q * (2 * L_{groot}) = D * TC_{klein} + q * (2 * L_{klein})$$

$$D * 1 + 6 * (2 * 2) = D * (0.5 * 4) + 6 * (2 * 1)$$

$$D = 24 - 12 = 12$$

Bij deze berekening wordt ervan uitgegaan dat de afstand voor beide voertuigtypes gelijk is. In het model zijn er echter in sommige gevallen kleine verschillen in afstand voor dezelfde link naargelang voertuigtypes. Dit verschil in afstand zal zowel de transportkost als de kapitaalkost van de goederen in transit beïnvloeden.

De kapitaalkost van de goederen in transit zal lager liggen bij wegtransport klein doordat de totale tijd (TT) lager ligt bij wegtransport klein. Dit heeft echter slechts een zeer klein aandeel in de totale logistieke kost van een transportketen. Maar het toont wel een voordeel aan van wegtransport klein, namelijk een hogere flexibiliteit en een snellere levering. Het model houdt echter enkel rekening met de totale logistieke kost om een moduskeuze te maken.

De totale logistieke kost voor alle 53 directe links is lager in het geval van wegtransport groot. Dit valt te verklaren door het feit dat de verschillende zones allemaal verder van elkaar gelegen zijn dan 12 kilometer.

3.4.2 Consolidatie:

Naast rechtstreekse leveringen kunnen de verschillende transporten ook gebundeld worden. Dit zou schaalvoordelen kunnen opleveren doordat de transportkosten gedeeld worden. Het is echter ook mogelijk dat consolidatie geen voordelen oplevert door de extra afstand, de langere reistijd of door de vaste kosten verbonden aan consolidatie.

Net zoals bij de directe links zullen in het simulatiemodel enkel de transportkost en de kapitaalkost van goederen in transit beïnvloed worden door consolidatie. Dit valt ook uit de formule af te leiden aangezien enkel de transportkost en de kapitaalkost van goederen in transit door de afstand en de tijd beïnvloed worden.

In de volgende secties zal enkel de totale logistieke kost van wegtransport groot berekend worden aangezien uit de berekeningen van de directe links blijkt dat dit de goedkoopste oplossing was. Zowel consolidatie in voertuigen (sectie 4.2.1 en sectie 4.2.2) als consolidatie in terminals (sectie 4.2.3) worden onderzocht. Ook zullen beide consolidatiemogelijkheden worden vergeleken in sectie 4.2.4. Tenslotte worden in sectie 4.2.5 enkele methodes om de kosten te verdelen onder de deelnemers van de transportketen bekeken. Dit houdt wel in dat in de eerste vier secties (4.2.1 tot 4.2.4) enkel gekeken wordt naar de totale logistieke kost of transportkosten van de hele transportketen en niet van de deelnemers apart.

3.4.2.1 Gemeenschappelijke vertrekplaats

Vanuit een zone kunnen verschillende ladingen verzonden worden. Sommige ladingen zullen mogelijk dezelfde richting uitgaan. Deze ladingen kunnen dan samengenomen worden tot hun eindbestemming of tot een bepaald punt (terminal).

Om een duidelijk beeld te kunnen schetsen werden de links eerst geordend per vertrekplaats (zie bijlage B). Vervolgens kon er gekeken worden welke links in aanmerking kwamen voor consolidatie. Tabel 12 geeft een voorbeeld van de links met gemeenschappelijke vertrekplaats Gent.

Gent(vertrekplaats)
Antwerpen (3)
Brugge (2)
Aalst
Zaventem (2)
Leuven

Tabel 12: voorbeeld gemeenschappelijke vertrekplaats Gent

Er zijn in totaal 9 links die vanuit Gent vertrekken. Een grote vrachtwagen heeft een capaciteit van 27 ton, er kunnen dus maximaal 4 volle ladingen van 6 ton in een dergelijke vrachtwagen. In de tabel 13 worden de links geordend.

Gent	Gent	Gent
Aalst	Antwerpen (3)	Brugge (2)
Zaventem (2)		
Leuven		

Tabel 13: voorbeeld gemeenschappelijke vertrekplaats Gent

Vanuit Gent kunnen de links naar Aalst, Zaventem (1) en Zaventem (2) en Leuven gebundeld worden in één lading. De vrachtwagen is dan met 24 ton goederen geladen. Vanuit Gent vertrekken er ook drie links naar Antwerpen en twee links naar Brugge. De drie links Gent-Antwerpen alsook de twee links Gent-Brugge zouden kunnen samengenomen worden. Het zou ook kunnen dat er andere consolidatiemogelijkheden zijn die beter zijn. Zo zal de link Gent-Brugge later nog aan bod komen in sectie 4.2.2.

3.4.2.1.1 Illustratie:

Voor de links Gent-Aalst, Gent-Zaventem(1), Gent-Zaventem(2) en Gent-Leuven wordt de mogelijkheid tot consolidatie onderzocht. De transportketen vertrekt vanuit de gemeenschappelijke vertrekplaats Gent. De route die zal gevolgd worden is vervolgens Aalst, Zaventem en tenslotte Leuven. In dit geval is de aangewezen route duidelijk af te leiden via de kaart. In sommige gevallen moet de totaal af te leggen weg van de verschillende routes vergeleken worden. Dit wordt verduidelijkt in een voorbeeld in sectie 4.2.4.

Reeds eerder werd vermeld dat consolidatie een effect zal hebben op de transportkost en de kapitaalkost van de goederen in transit. De andere kostencomponenten blijven onveranderd. Er zal gekeken worden naar de totale transportkost van de transportketen aangezien het effect op de totale logistieke kost van elk bedrijf afzonderlijk afhankelijk is van de verdeelsleutel van de kostenbesparing die de deelnemers toepassen (zie sectie 4.2.5). De kapitaalkost van goederen in transit wordt per link bekeken.

De totale transportkost van deze transportketen bestaat uit de kilometervergoeding en de laad- en loskosten van de vier deelnemers. Hierbij kan opgemerkt worden dat enkel de kilometervergoeding verandert in de totale transportkost. De laad- en loskosten blijven hetzelfde als bij de directe links. Voor deze transportketen zal de totale transportkost € 179.66 bedragen. Tabel 14 toont de totale transportkosten van de transportketen voor en na consolidatie.

Totale transportkost voor consolidatie	Totale Transportkost na consolidatie	Kostenbesparing
€ 339,93	€ 179,66	€ 160,27

Tabel 14: totale transportkosten voor en na consolidatie

Deze tabel toont dat er op de transportkosten bespaard kan worden door de ladingen met gemeenschappelijke vertrekplaats Gent te bundelen.

De kapitaalkost van de goederen in transit zal toenemen voor de meeste deelnemers van de transportketen. De reden hiervoor is de toename van de totale tijd (TT), doordat de goederen langer onderweg zijn dan bij een directe link. De andere parameters veranderen niet. De resultaten zijn terug te vinden in tabel 15. Hierbij valt op dat voor drie van de vier deelnemers de kapitaalkost voor goederen in transit is gestegen. Enkel voor het eerste bedrijf van de route zal de kapitaalkost van goederen in transit niet veranderen. De toename van de kapitaalkost van de goederen in transit weegt echter niet op tegen de besparing op de transportkosten.

	Kapitaalkost goederen in transit voor consolidatie	Kapitaalkost goederen in transit na consolidatie
Gent-Aalst	€ 0,162	€ 0,162
Gent-Zaventem	€ 0,169	€ 0,171
Gent-Zaventem	€ 0,169	€ 0,171
Gent-Leuven	€ 0,173	€ 0,175

Tabel 15: kapitaalkost goederen in transit per link voor en na consolidatie

3.4.2.2 Gemeenschappelijke aankomstplaats

Vanuit verschillende zones kunnen ladingen verzonden worden naar een bepaalde zone. Sommige ladingen vertrekken mogelijk vanuit dezelfde richting. Deze ladingen kunnen dan samengenomen worden vanaf hun beginbestemming of vanaf een bepaald punt (terminal) tot hun gemeenschappelijke aankomstplaats.

Net als voor de gemeenschappelijke vertrekplaatsen werd voor de gemeenschappelijke aankomstplaatsen een tabel opgemaakt waar per aankomst de links werden geordend (zie bijlage c). Op basis van tabel 16 kunnen dan andere transportketens gevormd worden waar de mogelijkheid tot consolidatie bestaat. Zo is het mogelijk dat een link zowel geconsolideerd kan worden in voertuigen op basis van de vertrekplaats als op basis van de aankomstplaats. In dit geval moet er dan gekeken worden welke transportketen het voordeligste is.

Genk(aankomstplaats)
Sint-Truiden
Kortrijk
Antwerpen
Zaventem

Tabel 16: voorbeeld gemeenschappelijke aankomstplaats Genk

Tabel 17 toont de transportketens die gevormd kunnen worden.

Genk	Genk
Sint-Truiden	Antwerpen
Kortrijk	
Zaventem	

Tabel 17: voorbeeld gemeenschappelijke aankomstplaats Genk

Uit bovenstaande tabel blijkt dat voor de link Antwerpen-Genk geen andere links passen met aankomst Genk. Voor deze link kan op een andere manier links gezocht worden die 'matchen'. Zo komt de link Antwerpen-Genk in de sectie 4.2.3 nog aan bod.

De links Sint-Truiden-Genk, Kortrijk-Genk en Zaventem-Genk kunnen wel gebundeld worden.

3.4.2.2.1 Illustratie:

Deze transportketen vertrekt vanuit Kortrijk. De route die zal gevolgd worden is vervolgens Zaventem, Sint-Truiden om tenslotte in de gemeenschappelijke aankomstplaats Genk te eindigen. Ook in dit geval is de aangewezen route duidelijk af te leiden via de kaart.

De procedure bij het berekenen van de totale logistieke kost is zeer gelijkend aan deze van de gemeenschappelijke vertrekplaats. Ook hier zullen de kostencomponenten orderkost O , voorraaddkost I en kapitaalkost van de voorraad K hetzelfde blijven als bij de directe links.

De formule voor de totale transportkost is dezelfde als in vorige sectie. Tabel 18 toont de totale transportkosten voor en na consolidatie.

Totale transportkost voor consolidatie	Totale Transportkost na consolidatie	Kostenbesparing
€ 349,23	€ 250,580	€ 98,650

Tabel 18: totale transportkosten voor en na consolidatie

Deze tabel toont dat een forse besparing mogelijk te zijn op de totale transportkost door ladingen te bundelen.

Ook bij deze consolidatiemogelijkheid zal de kapitaalkost van de goederen in transit toenemen voor de meeste deelnemers van de transportketen. De reden hiervoor is de toename van de totale tijd (TT), doordat de goederen langer onderweg zijn. Enkel voor de laatste deelnemer van de transportketen, Sint-Truiden in dit geval, zal de kapitaalkost van de goederen in transit gelijk blijven. De resultaten zijn terug te vinden in tabel 19.

	Kapitaalkost goederen in transit voor consolidatie	Kapitaalkost goederen in transit na consolidatie
Kortrijk-Genk	0,197	0,199
Zaventem-Genk	0,175	0,176
Sint-Truiden-Genk	0,163	0,163

Tabel 19: kapitaalkost goederen in transit voor en na consolidatie

3.4.2.2.2 Illustratie

Ter illustratie wordt de link Gent-Brugge(1) en Gent-Brugge (2) die reeds aan bod kwamen in sectie 4.2.1 verder uitgewerkt. Deze twee links konden samengenomen worden, maar verder waren geen andere links met vertrekplaats Gent die in aanmerking kwamen om met deze twee links gebundeld te worden (tabel 13). Echter, als de links met gemeenschappelijke aankomstplaats Brugge onderzocht worden, blijkt er toch een consolidatiemogelijkheid te zijn voor deze twee links (tabel 20).

Brugge(aankomstplaats)
Gent (2)
Aalst
Antwerpen (2)
Kortrijk

Tabel 20: voorbeeld gemeenschappelijke aankomstplaats Brugge

Brugge	Brugge	Brugge	Brugge
Gent (2)	Gent (2)	Gent (2)	Kortrijk
Antwerpen (2)	Aalst		

Tabel 21: voorbeeld gemeenschappelijke aankomstplaats Brugge

Tabel 21 geeft aan dat voor de links Gent-Brugge (1) en Gent-Brugge (2) drie mogelijkheden zijn om te consolideren. Voor de link Kortrijk-Brugge is in dit geval geen mogelijkheid tot consolidatie.

Vervolgens wordt gekeken welke consolidatiemogelijkheid het beste resultaat levert voor de links Gent-Brugge. Hieronder staan drie mogelijke transportketens:

1. Gent-Brugge (1) en Gent-Brugge (2)
2. Gent-Brugge (1), Gent-Brugge (2), Antwerpen-Brugge (1) en Antwerpen-Brugge (2)
3. Aalst-Brugge, Gent-Brugge (1) en Gent-Brugge (2)

Tabel 22 geeft de totale logistieke kost van de drie transportketens voor en na consolidatie:

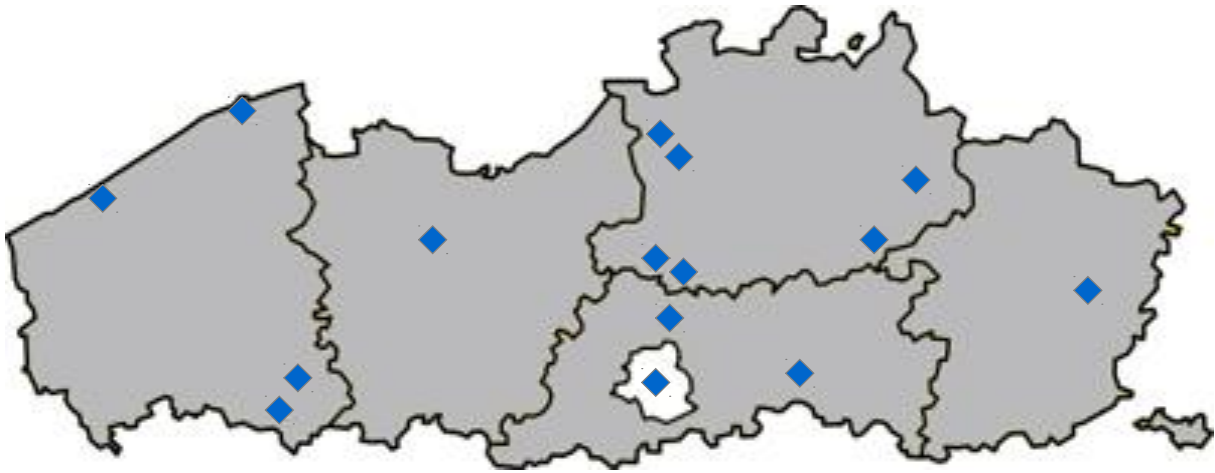
Transportketen	Totale logistieke kost voor consolidatie	Totale logistieke kost na consolidatie	Kostenbesparing van de transportketen	Kostenbesparing per deelnemer
Gent-Brugge Gent-Brugge	€ 257,194	€ 210,804	€ 46,390	€ 23,195
Gent-Brugge Gent-Brugge Antwerpen-Brugge Antwerpen-Brugge	€ 627,739	€ 416,872	€210,866	€ 52,7165
Gent-Brugge Gent-Brugge Aalst-Brugge	€ 414,049	€ 312,173	€ 101,876	€ 33,9587

Tabel 22: vergelijking totale logistieke kost van verschillende transportketens

Hieruit blijkt dat de transportketen met de links Gent-Brugge (1), Gent-Brugge (2), Antwerpen-Brugge (1) en Antwerpen-Brugge (2) voor de grootste kostenbesparing zorgt per transportketen als per deelnemer. Merk op dat voor de berekening van de kostenbesparing per deelnemer werd gekozen voor de proportionele verdeling van de kostenbesparing. In sectie 4.2.5 wordt dieper ingegaan op de kostenallocatie.

3.4.2.3 Met Terminal

Bij de vorige twee consolidatiemogelijkheden werd geen gebruik gemaakt van terminals. Er kan echter ook geconsolideerd worden door goederen van verschillende vertrekplaatsen te bundelen in een terminal om ze vervolgens te verzenden naar een gemeenschappelijke aankomstplaats. Ook is het mogelijk dat goederen gebundeld vertrekken van een gemeenschappelijke vertrekplaats naar een terminal om ze daar vervolgens te verdelen en naar verschillende aankomstplaatsen te verzenden. Eveneens is een combinatie van beide mogelijk.



Figuur 12: de locatie van de terminals van de masterproef

Bij deze consolidatiemogelijkheid is de keuze van het consolidatiecentrum zeer belangrijk. Deze keuze kan in sommige gevallen aan de hand van de kaart gedaan worden (figuur 12), in andere gevallen zal mathematisch moeten berekend worden welk consolidatiecentrum de laagste totale logistieke kost met zich meebrengt voor de bedrijven.

Net zoals in vorige secties zal de transportkost en de kapitaalkost voor goederen in transit beïnvloed worden door de consolidatie van de ladingen. Het spreekt voor zich dat de kapitaalkost voor de goederen in transit zal toenemen. De transportkost wordt bepaald door de kilometervergoeding en de laad- en loskosten. Door de consolidatie zal de kilometer vergoeding per klant waarschijnlijk afnemen in vergelijking met directe links, aangezien deze kosten gedeeld worden door meerdere klanten. De laad- en loskosten zullen verdubbelen bij het gebruik van één terminal aangezien de goederen nu tweemaal geladen en gelost moeten worden.

Het volgende voorbeeld zal duidelijk maken hoe de kostencomponenten en de totale logistieke kost beïnvloed worden door consolidatie met een terminal.

3.4.2.3.1 Illustratie

Als voorbeeld voor de consolidatiemogelijkheden met een terminal worden de links Brugge-Sint-Truiden, Antwerpen-Sint-Truiden en Antwerpen-Genk onderzocht. Deze transportketen heeft dus zowel verschillende vertrekplaatsen als verschillende aankomstplaatsen. De route start in Brugge waar één lading wordt geladen. Vervolgens worden in Antwerpen twee andere ladingen geladen. Hierna zullen de goederen getransporteerd worden naar de terminal in Meerhout. Vanuit Meerhout zal één lading naar Genk worden verzonden terwijl de twee andere ladingen met een andere vrachtwagen naar Sint-Truiden worden verzonden.

Om na te gaan wat de invloed is op de totale logistieke kost wordt eerst gekeken naar de totale transportkost van de keten. De totale afstand zal de kilometervergoeding bepalen (zie tabel 23).

Route	Afstand
Brugge-Antwerpen	98,44 km
Antwerpen-Meerhout	58,5 km
Meerhout-Genk	34,48 km
Meerhout-Sint-Truiden	39,49 km
TOTAAL	230,91 km

Tabel 23: totale afstand van de route

Voor deze transportketen zullen de drie ladingen twee keer geladen en 2 keer gelost moeten worden. Zo komen we tot de volgende totale transportkost voor deze transportketen:

$$230,91 * 1 + 3 * (4 * 6ton * 2euro) = 374,91$$

Tabel 24 vergelijkt de transportkosten voor consolidatie en na consolidatie met terminal. Hieruit blijkt dat de transportkosten zullen dalen door de ladingen te bundelen:

Transportkosten voor consolidatie	Transportkosten na consolidatie	Kostenbesparing
€ 414,18	€ 374,91	€ 39,27

Tabel 24: transportkosten voor en na consolidatie

De kapitaalkost van de goederen in transit Y voor en na consolidatie wordt weergegeven in de tabel 25:

	Voor consolidatie	Na consolidatie
Brugge-Sint-Truiden	€ 0,191	€ 0,201
Antwerpen-Sint-Truiden	€ 0,181	€ 0,179
Antwerpen-Genk	€ 0,178	€ 0,178

Tabel 25: kapitaalkost goederen in transit voor en na consolidatie

Hierbij valt op dat de totale tijd voor de link Antwerpen-Sint-Truiden afneemt. De route die gevolgd wordt met de terminal in Meerhout gaat sneller dan de route die gevolgd wordt in geval van de rechtstreekse levering. Wel dient opgemerkt te worden dat geen tijd wordt aangerekend voor het laden en lossen van de vrachtwagens in de terminal.

3.4.2.4 Vergelijkingen met of zonder terminal

In de vorige sectie werd reeds aangehaald dat het gebruiken van een terminal de vaste kosten doet stijgen. Het voordeel dat hier tegenover staat, is een verlaging van de kilometervergoeding. In het volgende voorbeeld wordt voor dezelfde links als in het voorbeeld uit de vorige sectie onderzocht welke invloed het weglaten van de terminal op de verschillende kostencomponenten heeft en specifiek op de transportkosten.

3.4.2.4.1 Illustratie

Het betreft dus de links Brugge-Sint-Truiden, Antwerpen-Sint-Truiden en Antwerpen-Genk. De route die gevolgd zal worden is achtereenvolgens Brugge, Antwerpen, Sint-Truiden en Genk. Er wordt voor deze transportketen gekozen aangezien ze de laagste totale afstand heeft en dus ook de laagste transportkosten.

In de meeste gevallen kan de route bepaald worden aan de hand van de kaart, echter in sommige gevallen zullen totale afstanden van de verschillende routes moeten vergeleken worden vooraleer de route bepaald wordt. In dit voorbeeld moet mathematisch berekend worden welke route er gevolgd moet worden. De route Brugge-Antwerpen-Sint-Truiden-Genk heeft een totale afstand van 216,03 km terwijl de route Brugge-Antwerpen-Genk-Sint-Truiden een totale afstand van 220,55 km heeft. Met de kaart kon dit verschil niet opgemerkt worden.

Voor het berekenen van de transportkosten wordt er eerst gekeken naar de totale afstand die afgelegd moet worden (zie tabel 26).

Route	Afstand
Brugge-Antwerpen	98,44 km
Antwerpen-Sint-Truiden	86,17783 km
Sint-Truiden-Genk	29,53 km
TOTAAL	216,03 km

Tabel 26: totale afstand zonder terminal

Op basis van deze tabel kan al verwacht worden dat in dit geval de terminal geen voordeel biedt. De kilometervergoeding zal immers hoger liggen bij de route met terminal (230,91 km, zie tabel 17) dan bij de route zonder terminal. Hierbij komen nog de laad- en loskosten van de terminal die er voor zorgen dat de kosten nog hoger zullen liggen. Dit alles wordt duidelijk gemaakt in tabel 27 die zowel de totale transportkosten als de totale logistieke kost van de transportketen toont:

	Consolidatie met terminal	Consolidatie zonder terminal	Geen consolidatie
Totale transportkosten	€ 374,91	€ 288,03	€ 414,18
Totale logistieke kost (van de drie links)	€ 547,398	€ 460,534	€ 586,66

Tabel 27: vergelijking van de totale transportkosten en de totale logistieke kost met of zonder terminal

Deze resultaten tonen dat consolidatie met terminal in dit voorbeeld enkel extra kosten met zich meebrengt. De reden hiervoor is dat Genk en Sint-Truiden te dicht bij elkaar liggen. Dit voorbeeld toont aan dat de totale afstand niet gegarandeerd lager ligt indien er een beroep wordt gedaan op een terminal. Consolidatie met een terminal zal pas lonend zijn indien de totale afstand merkkelijk lager ligt dan bij consolidatie zonder terminal aangezien steeds de extra vaste kosten gedekt moeten worden.

Wel dient opgemerkt te worden dat bij het berekenen van de totale transportkosten vanaf de terminal geen consolidatie meer plaatsvond. In realiteit is de kans reëel dat vanuit de terminal meerdere ladingen in de richting van Genk of Sint-Truiden vervoert worden. Dit zou een lagere transportkost betekenen voor de consolidatiemogelijkheid met terminal.

3.4.2.5 Kostenallocatie

Vorige secties handelde steeds over de totale transportkosten en totale logistieke kost van de transportketen. In deze sectie zal gekeken worden naar de verdeling van de totale transportkosten onder de deelnemers van de transportketen. Voor de deelnemers is dit een belangrijk element. Het zal bepalen of een bedrijf al dan niet wil deelnemen aan de transportketen.

Als voorbeeld wordt de transportketen van sectie 4.2.3 aangehaald. Dit was de transportketen met een terminal. Er zullen drie methodes om de kostenbesparing te verdelen besproken worden:

1. Decompositie methode (proportioneel per tak van de transportketen)
2. Proportioneel verdelen
3. Shapley-value methode

Tenslotte worden de drie methodes met elkaar vergeleken in sectie 4.2.5.4.

3.4.2.5.1 Decompositie methode

In dit geval zal gekeken worden welke ladingen deel uit maken van een tak van de transportketen. Per tak worden de transportkosten vervolgens verdeeld.

Ter illustratie wordt de link Brugge-Sint-Truiden onder de loep genomen in de transportketen met terminal. De link Brugge-Sint-Truiden zal bij deze methode volledig instaan voor de transportkosten van Brugge tot Antwerpen. De transportkosten van Antwerpen tot de terminal in Meerhout zal proportioneel verdeeld worden onder de drie links. En tenslotte zal de transportkost naar de eindbestemming Sint-Truiden verdeeld worden onder de twee ladingen met bestemming Sint-Truiden.

Wat dit in praktijk betekent voor de link Brugge-Sint-Truiden is terug te vinden in tabel 28. In deze tabel wordt de kilometervergoeding berekend per tak van de route en verdeeld per deelnemende link.

Route	Deelnemende link	Transportkosten	Transportkost per link
Brugge-Antwerpen	Brugge-Sint-Truiden	€ 98,44	€ 98,44
Antwerpen-Meerhout	Brugge-Sint-Truiden Antwerpen-Genk Antwerpen-Sint-Truiden	€ 58,5	€ 19,5
Meerhout-Sint-Truiden	Brugge-Sint-Truiden Antwerpen-Sint-Truiden	€ 39,49	€ 19,745
Meerhout-Genk	Antwerpen-Genk	€ 34,48	€ 34,48

Tabel 28: decompositie methode voor Brugge-Sint-Truiden

In tabel 29 wordt de totale logistieke kost per link weergegeven, zowel voor als na consolidatie.

	Totale logistieke kost voor consolidatie	Totale logistieke kost na consolidatie
Brugge-Sint-Truiden	€ 242,568	€ 242,703
Antwerpen-Sint-Truiden	€ 169,187	€ 144,369
Antwerpen-Genk	€ 174,906	€ 160,326

Tabel 29: totale logistieke kost per link voor en na consolidatie

In deze tabel valt op dat de totale logistieke kost voor Brugge-Sint-Truiden gestegen is na consolidatie. Verdere bespreking volgt in sectie 4.2.5.4.

3.4.2.5.2 Kostenbesparing proportioneel verdelen

Bij deze methode zal eerst de kostenbesparing berekend worden. Nadien kan men dit bedrag proportioneel verdelen onder de deelnemers van de transportketen. Dit houdt in dat de oorspronkelijke transportkosten van een link verlaagd zullen worden.

Voor de transportketen met terminal is de kostenbesparing door consolidatie reeds berekend (zie tabel 30).

Transportkosten voor consolidatie	Transportkosten na consolidatie	Kostenbesparing
€ 414,18	€ 374,91	€ 39,27

Tabel 30: kostenbesparing transportketen met terminal

Deze kostenbesparing zal verdeelt worden onder de verschillende links (tabel 31). Dit betekent voor iedere link een kostenbesparing van € 13,09.

Link	Transportkosten voor consolidatie	Transportkosten na consolidatie	Totale logistieke kost voor consolidatie	Totale logistieke kost na consolidatie
Brugge-Sint-Truiden	€ 185,560	€ 172,470	€ 242,568	€ 229,478
Antwerpen-Sint-Truiden	€ 112,060	€ 98,970	€ 169,187	€ 156,097
Antwerpen-Genk	€ 116,560	€ 103,470	€ 174,906	€ 161,816

Tabel 31: kostenbesparing proportioneel verdeeld per link

De bespreking van bovenstaande tabel volgt in sectie 4.2.5.4.

3.4.2.5.3 Shapley-value methode

De Shapley-value methode zal de marginale bijdrage van elke link berekenen en op basis hiervan de transportkosten verdelen. Hiervoor zullen de links één voor één opgenomen worden in de transportketen in een vooraf bepaalde volgorde. Vervolgens wordt naar de kostenbijdrage gekeken of met andere woorden de marginale kost om een extra link op te nemen in een reeds bestaande transportketen wordt berekend. De Shapley-value van een link geeft de gemiddelde kostenbijdrage per deelnemer.

Ter illustratie wordt terug gekeken naar de transportketen van de links Brugge-Sint-Truiden, Antwerpen-Sint-Truiden en Antwerpen-Genk met een terminal in Meerdonk. In het voorbeeld zal steeds de terminal in de transportketen opgenomen worden. Eerst zal de totale logistieke kost berekend worden voor elke combinatie van bovenstaande links met een terminal in Meerhout (vb. Antwerpen-Sint-Truiden en Antwerpen-Genk met terminal in Meerhout). Verder is de totale logistieke kost van de links afzonderlijk en de drie links samen reeds berekend. Al deze gegevens zijn terug te vinden in tabel 32:

Transportketen	Totale logistieke kost
Brugge-Sint-Truiden	€ 242,568
Antwerpen-Sint-Truiden	€ 169,187
Antwerpen-Genk	€ 174,906
Brugge-Sint-Truiden Antwerpen-Sint-Truiden	€ 406,572
Brugge-Sint-Truiden Antwerpen-Genk	€ 442,274
Antwerpen-Sint-Truiden Antwerpen-Genk	€ 343,94
Brugge-Sint-Truiden Antwerpen-Sint-Truiden Antwerpen-Genk	€ 547,398

Tabel 32: totale logistieke kost van transportketens

De volgende stap is het berekenen van de kostenbijdrage per link, afhankelijk van de volgorde waarin ze worden toegevoegd. In tabel 33 staat A voor de link Brugge-Sint-Truiden, B voor de link Antwerpen-Sint-Truiden en C voor de link Antwerpen-Genk.

Als voorbeeld wordt de volgorde BAC besproken. Er wordt dus gestart met link B. De totale logistieke kost van deze link is € 169,187 (tabel 32).

Vervolgens wordt de link A toegevoegd. De marginale kost van A kan in dit geval berekend worden door het verschil te nemen van de totale logistieke kost van de transportketen AB en de link B:

$$406,572 - 169,187 = 237,385$$

In de laatste stap wordt dan link C toegevoegd. De marginale kost van C is het verschil van de totale logistieke kost van de transportketens ABC en AC:

$$547,398 - 406,572 = 140,826$$

Indien dit voor alle combinaties wordt gedaan, bekomt men tabel 33:

Volgorde links	Kostenbijdrage Brugge-Sint-Truiden (A)	Kostenbijdrage Antwerpen-Sint- Truiden (B)	Kostenbijdrage Antwerpen-Genk (C)
ABC	242,568	164,004	140,826
ACB	242,568	105,124	199,706
BAC	237,385	169,187	140,826
BCA	203,458	169,187	174,753
CAB	267,368	105,124	174,906
CBA	203,458	169,034	174,906
TOTAAL	1396,805	881,66	1005,923
GEMIDDELDE	232,8008	146,9433	167,6538

Tabel 33: totale logistieke kost per link met de Shapley-value methode

4.2.5.4 Vergelijking verschillende methodes

Tabel 34 geeft een overzicht van de verschillende methodes voor de kostenallocatie:

	Decompositie methode	Proportioneel verdelen	Shapley-value	Totale logistieke kost voor consolidatie
Brugge-Sint- Truiden	€ 242,703	€ 229,478	232,8008	€ 242,568
Antwerpen-Sint- Truiden	€ 144,369	€ 156,097	146,9433	€ 169,187
Antwerpen-Genk	€ 160,326	€ 161,816	167,6538	€ 174,906

Tabel 34: overzicht van de verschillende methodes voor de kostenallocatie

De decompositie methode is nadelig voor de link Brugge-Sint-Truiden. Bij deze kostenverdeling zal het geen voordeel hebben door hun ladingen te consolideren. Ze zullen enkel nadelen ondervinden van het consolideren, zoals extra planning en afname van de flexibiliteit. Mogelijk moeten de andere links een compensatie voorzien om Brugge-Sint-Truiden te overtuigen deel uit te maken van deze transportketen.

De proportionele verdeling zal voor iedere link een kostenbesparing opleveren. Het is echter niet zeker dat de links die een groter aandeel hebben in de kostenbesparing zich kunnen vinden in deze kostenverdeling.

Volgens de Shapley-value methode levert de link Antwerpen-Sint-Truiden de grootste bijdrage tot de kostenbesparing. De aangerekende kost voor deze link ligt dan ook veel lager dan de totale logistieke kost in het geval van de directe link. De andere twee links en de link Antwerpen-Genk in

het bijzonder hebben een kleinere bijdrage tot de kostenbesparing. Dit resulteert in een kleiner verschil tussen de aangerekende en oorspronkelijke totale logistieke kost.

Bij het bepalen van de verdeelsleutel spelen in praktijk ook nog andere factoren een rol. Zo zal de onderhandelingspositie en onderhandelingskracht van bedrijven ook een rol spelen. Sommige bedrijven zullen meerdere mogelijkheden hebben om te consolideren en zullen voor de transportketen met de beste condities kiezen.

3.5 Conclusie:

We merken dat in het simulatiemodel de consolidatie van ladingen met een gemeenschappelijke vertrekplaats en de consolidatie van ladingen met een gemeenschappelijke aankomstplaats steeds een positief effect hebben op de totale logistieke kost van de transportketen. Consolidatie in voertuigen leidt in het simulatiemodel immers tot een lagere kilometervergoeding terwijl het geen extra vaste kosten met zich meebrengt.

Tevens zien we dat de consolidatie met terminal niet altijd garant staat voor een verlaging van de totale logistieke kost van de transportketen. Bovendien merken we dat voor dezelfde transportketen consolidatie in voertuigen meestal lagere kosten met zich meebrengt dan consolidatie in terminals. De verschillende zones liggen in het simulatiemodel voor Vlaanderen niet ver van elkaar verwijderd. Dit speelt in het voordeel van consolidatie in voertuigen en is één reden waarom de voorkeur in dit model meestal uitgaat naar consolidatie in voertuigen. Andere verklaringen voor de voorkeur voor consolidatie met voertuigen zijn de assumpties van het simulatiemodel, zoals de gemiddelde verzendingsgrootte, de ligging van de terminals, etc. Zo zou bij een lagere gemiddelde verzendingsgrootte meer ladingen gebundeld kunnen worden. Dit speelt in het voordeel van consolidatie met terminal. De vaste kosten van de terminal blijven gelijk maar meer ladingen van verschillende vertrekplaatsen kunnen geconsolideerd worden.

Ook werd het duidelijk dat bepaalde zones beter geschikt waren voor consolidatie dan andere. Dit heeft enerzijds te maken met hun ligging. Een bedrijf met een centrale ligging komt in het simulatiemodel in aanmerking voor betere transportketens. Ook zijn er voor deze bedrijven meer consolidatiemogelijkheden. Anderzijds zullen vanuit bepaalde zones meer ladingen vertrekken alsook aankomen. Dit maakt het makkelijker om een transportketen te vormen tussen verschillende links.

Naast de locatie van de bedrijven zal ook de bezettingsgraad van de vrachtwagen een rol spelen. Hoe meer de capaciteit van een vrachtwagen wordt benut, hoe meer de kosten kunnen gedeeld worden. Zo was in sectie 4.2.2.2 de kostenbesparing het grootst voor de transportketen met de hoogste bezettingsgraad.

De methode van kostenallocatie zal bepalen of bedrijven al dan niet deel willen uitmaken van een transportketen. Indien geen of slechts geringe voordelen zijn gebonden aan consolidatie zullen bedrijven rechtstreekse leveringen verkiezen. De kostenverdeling zal in bepaalde gevallen aangepast moeten worden zodat alle bedrijven kunnen genieten van de voordelen van consolidatie. De kostenallocatie zal verschillen naargelang de transportketen aangezien sommige bedrijven meerdere consolidatiemogelijkheden hebben om te consolideren. Zo werd in sectie 4.2.2.2 een voorbeeld uitgewerkt voor de verschillende consolidatiemogelijkheden van de link Gent-Brugge.

Deel 4: Besluit

Nadat het praktijkprobleem gesitueerd en omschreven was, werden de centrale onderzoeksvraag en bijhorende deelvragen opgesteld. Een antwoord op deze vragen werd gegeven in de literatuurstudie en in het praktijkgedeelte.

4.1 Opnemen van logistieke elementen in goederenmodellen

Uit de literatuurstudie blijkt dat de meeste goederenmodellen geen rekening houden met de invloed van logistieke elementen op de goederenstroom. In de literatuurstudie van deze masterproef werden naast het traditionele vierstapsmodel twee modellen besproken waarin logistieke elementen wel werden opgenomen, namelijk het aggregate-disaggregate-aggregate (ADA) model en het goederenmodel van Liedtke.

Het traditionele vierstapsmodel heeft als nadeel dat in dit model cruciale elementen zoals logistieke beslissing in het transportsysteem ontbreken. Dit komt doordat deze modellen meestal enkel gebruik maken van geaggregeerde data.

Het aggregate-disaggregate-aggregate (ADA) model neemt wel logistieke elementen op en dit in een gedisaggregeerde logistieke module. Dit heeft als voordeel dat de attributen van de beslissingsnemers worden opgenomen en de logistieke keuzes bijgevolg kunnen gemodelleerd worden op het niveau van de eigenlijke beslissingsnemer. Aan de hand van de totale logistieke kost wordt in dit model de moduskeuze bepaald die het beste samengaat met een voorraadniveau. Hierdoor kan men logistieke beslissingen nemen zoals de lotgrootte, de leveringsfrequentie, het aantal delen in de transportketen, de transportmodus en voertuigtype.

Het goederenmodel van Liedtke zal eveneens logistieke elementen in het model opnemen en dit door logistieke processen te modelleren op micro-economisch niveau. Zo zal de coördinatie tussen de verschillende individuele actoren in het model opgenomen worden door lokale marktinteracties te simuleren. Dit doen ze door veilingen van transportcontracten te simuleren en zo routes te genereren. In deze transportcontracten zijn logistieke elementen opgenomen zoals de lotgrootte, de leverfrequentie, etc. Ook hier passen de actoren een kostenminimalisatie-strategie toe.

4.2 Consolidatie in goederentransport

Consolidatie in goederentransport behelst het groeperen van individuele leveringen of deelladingen die bestemd zijn voor dezelfde locatie zodat een kleiner aantal volle ladingen getransporteerd worden naar hun bestemming. Het is een logistieke strategie die twee of meer orders bundelt zodat een grotere hoeveelheid goederen kan verzonden worden in hetzelfde voertuig (Ülkü, 2009).

Consolidatie heeft een impact op de routekeuze en de moduskeuze. Deze logistieke beslissingen hebben een invloed op het totale volume van goederentransport en moeten dus opgenomen worden in een goederenmodel (Maurer, 2008). Er is sprake van consolidatie op het niveau van de transportketen (terminal) en op het niveau van voertuigroutes (Schroeder, et al. 2011). Schaalvoordelen kunnen dus gehaald worden in logistieke faciliteiten alsook in voertuigen zelf.

4.3 Praktijkgedeelte

In het praktijkgedeelte wordt onderzocht hoe wegconsolidatie in een goederenmodel kan worden opgenomen. Hiervoor wordt een simulatiemodel voor Vlaanderen gebruikt. In het simulatiemodel wordt enkel gekeken naar wegtransport. Bijgevolg zijn er slechts twee transportmodi relevant voor dit onderzoek, namelijk wegtransport klein en wegtransport groot.

De derde stap van het model wordt nader bekeken aangezien in deze stap ook de beslissingen omtrent het toepassen van consolidatie worden genomen. In deze stap wordt de werkwijze van het ADA-model toegepast. Op deze manier kunnen de logistieke beslissingen op gedisaggregeerd niveau opgenomen worden.

Voor deze masterproef werden 53 links tussen 10 gemeentes gebruikt. Net zoals in het ADA model wordt gekeken naar de totale logistieke kost. De totale logistieke kost bestaat uit de volgende componenten (Maes, et al. 2011): de orderkost, de transportkost, de kapitaalkost van goederen in transit, de voorraadkost en de kapitaalkost van goederen in voorraad. De totale logistieke kost van de verschillende links wordt berekend voor de verschillende transportketens. Vervolgens wordt gekeken welke optie het voordeligste is voor het desbetreffende bedrijf.

Eerst werd de totale logistieke kost voor de rechtstreekse leveringen berekend. Hieruit bleek dat voor alle 53 links de totale logistieke kost lager is voor wegtransport groot dan voor wegtransport klein. Dit valt te verklaren door het feit dat de verschillende gemeentes allemaal verder van elkaar gelegen zijn dan 12 kilometer.

Er werden vervolgens consolidatiemogelijkheden onderzocht op niveau van de transportketen (met terminal) en op niveau van de voertuigroutes. In het simulatiemodel heeft de consolidatie in voertuigen van ladingen met een gemeenschappelijke vertrekplaats en de consolidatie in

voertuigen van ladingen met een gemeenschappelijke aankomstplaats steeds een positief effect op de totale logistieke kost van de transportketen. De consolidatie met terminal daarentegen staat niet altijd garant voor een verlaging van de totale logistieke kost van de transportketen. Bovendien bleek dat voor dezelfde transportketen consolidatie in voertuigen meestal lagere kosten met zich meebrengt dan consolidatie in terminals.

Ook werd duidelijk dat bepaalde zones beter geschikt waren voor consolidatie dan andere. Naast de locatie van de bedrijven zal ook de bezettingsgraad van de vrachtwagen een rol spelen. Hoe meer de capaciteit van een vrachtwagen benut wordt, hoe meer de kosten kunnen gedeeld worden.

Tenslotte werden verschillende methodes voor de kostenallocatie vergeleken. De methode van kostenallocatie zal bepalen of bedrijven al dan niet deel willen uitmaken van een transportketen. Indien er geen of slechts geringe voordelen zijn gebonden aan consolidatie zullen bedrijven rechtstreekse leveringen verkiezen. De kostenverdeling zal in bepaalde gevallen aangepast moeten worden zodat alle bedrijven kunnen genieten van de voordelen van consolidatie.

Uit de resultaten van het praktijkgedeelte blijkt dat het opnemen van wegconsolidatie in goederenmodellen zal leiden tot een correcter model. Indien wegconsolidatie wordt opgenomen, zullen bedrijven andere beslissingen nemen dan wanneer hier geen rekening mee gehouden wordt in het model. Bedrijven in het goederenmodel kiezen hierdoor mogelijk voor een andere transportketen waardoor andere routes gevolgd worden. Indien wegconsolidatie wordt opgenomen in goederenmodellen zullen overheden dus beter het effect van beleidsbeslissingen op de weggebruikers kunnen inschatten.

Deel 5: Lijst van geraadpleegde werken

Artiba, A., Elmaghraby, S.E. (Eds.). (1996). The planning and scheduling of production systems. Londen: Chapman & Hall.

Audy, J., D'Amours, S., and Rousseau, L. (2010). Cost allocation in the establishment of a collaborative transportation agreement - an application in the furniture industry. *Journal of the Operational Research Society*, 62(6): 960-970.

Beagan, D., Fisher, M. & Kuppam, A. (2007). Quick Response Freight Manuel II. U.S.Department of transportation, Federal Highway Administration.

Ben-Akiva, M. & de Jong, G. (2007). A micro-simulation model of shipment size and transport chain choice. *Transportation Research Part B*, 41, 950-965.

Ben-Akiva, M. & de Jong, G. (2008). The Aggregate-Disaggregate-Aggregate (ADA) Freight Model System. In M. Ben-Akiva, H. Meersman, & E. Van de Voorde, *Recent developments in Transport Modelling* (pp. 117-134).

Blauwens, G., De Baere, P., & Van de Voorde, E. (2012). *Transport economics – 5th edition*. Antwerpen: De Boeck.

Browne, M., Sweet, M., Woodurn, A. & Allen, J. (2005, november 2). Urban freight consolidation centres. Final report. University of Westminster, transport studies group.

Button, K. J. & Hensher D. A. (2005). *Handbook of Transport Modelling*. Elsevier B.V., Amsterdam.

Conway, D. G. & Gorman, M. F. (2004). An application of interdependent lot size and consolidation point choice. *Mathematical and Computer Modelling*, 44, 65-72.

de Jong, G., Gunn, H., & Walker, W. (2004). National and International Freight Transport Models: An Overview and Ideas for Future Development. *Transport Reviews*, 24(1), 103-124.

de Jong, G., Baak, J., De Bok & M. (2010). Program Documentations for the Logistics Model for Sweden. Samgods Group. Den Haag: Significance.

European Communities (2009), A sustainable future for transport, 28 augustus 2012 via http://ec.europa.eu/transport/publications/doc/2009_future_of_transport_en.pdf.

Fang, Y. (2006). Inbound Freight Consolidation for US Manufacturers at China. B.A. Economics, Shanghai Maritime University.

Fell, M., Lewis, A. & Palmer, D. (2010). Freight Consolidation Centre Study- Main report. Department for Transport.

Friedrich, M., Haupt, T. & Nökel, K. (2003, August 10-15). Freight Modelling: Data Issues, Survey Methods, Demand and Network Models. 10Th International Conference on Travel Behaviour Research, Lucerne.

Hajduková, J. (2006). Coalition formation games: A survey. *International Game Theory Review* 8(4), 613-641.

Heijboer, J. (2004). Quantitative analysis of strategic and tactical purchasing decisions. Twente University Press, Enschede.

Mobiliteit en Openbare Werken (2012), Flanders land logistics, de logistieke keten optimaliseren, 28 augustus 2012 via <http://www.flanderslogistics.be/index.php>.

Friedrich, H. (2010, July 10-15). Simulation of logistics in food retailing for freight transportation analysis. 12th WCTR, Portugal, Lisbon.

Ford, D. J. (2001). Inbound Freight Consolidation: A Simulation Model to Evaluate Consolidation Rules. Massachusetts Institute of Technology.

Gonzales-Ramirez, R. G., Askin, R.G., Smith, N.R. & Villalobos, R. (2008). Shipment consolidation bij terminals and vehicles. *Revista de Matemática: Teoría y Aplicaciones*, 16(1), 178-187.

Hall, R. W. (1987). Consolidation strategy: inventory, vehicles and terminals. *Journal of Business Logistics*, 8(2), 57-73.

Higginson, J. K., & Bookbinder, J. H. (1994). Policy recommendations for a shipment consolidation program. *Journal of Business Logistics*, 15(1), 87-112.

Immers, L. H., & Stada, J. E. (2011). *Cursus H01I6A: Verkeersmodellen*. Leuven: Centrum voor Industrieel Beleid / Verkeer en Infrastructuur.

Liedtke, G., & Schepperle, H. (2004). Segmentation of the Transportation Market with Regard to Activity-based Freight Transport Modelling. *International Journal of Logistics: Research and Applications*, 7(3), 199-218.

Liedtke, G. (2009). Principles of micro-behaviour commodity transport modeling. *Transportation Research Part E*, 45, 795-809.

Maes, T., Ramaekers, K., Caris, A., Bellemans, T., & Janssens, G. K. (2010). Innovative freight transportation framework for Flanders. Hasselt University, Transportation Research Institute.

Maes, T., Ramaekers, K., Caris, A., Bellemans, T., & Janssens, G. K. (2010, October 25-27). Creating an innovative activity-based freight transportation framework. Proceedings of The European Simulation and Modelling Conference. Diepenbeek, Limburg, Belgium.

Maes, T., Ramaekers, K., Caris, A., Janssens, G. K., & Bellemans, T. (2011, June 6-8). Simulation of logistic decision within freight transportation model. In Proceedings of the Industrial Simulation Conference. Venice.

Marinov, M., Islam, D. M. Z. & Zunder, T. (2008). Urban Freight Consolidation concepts: is there something missing. Transport Problems: an International Scientific Journal, 5(2), 5-12.

Maurer, H.H. (2008). Development of an Integrated Model For Estimating Emissions from Freight Transport. The University of Leeds, Institute for Transport Studies.

Motos. (2007). Transport Modelling: Towards Operational Standards in Europe . Opgevraagd op 15 januari, 2013, <http://www.motosproject.eu/>.

Mutlu, F., Çetinkaya, S., & Bookbinder, J. H. (2010). An analytical model for computing the optimal time-and-quantity-based policy for consolidated shipments. IIE Transactions, 42(5), 367-377.

Ortúzar, J. d., & Willumsen, L. G. (1994). Modelling Transport (2e editie ed.). Chichester: Wiley.

Reuvid, J. (2004). A handbook of worldtrade. A strategic guide to trading internationally. London: GMB Publishing Ltd.

Rodrigue, J.P. (2006). Challenging the Derived Transport Demand Thesis: Issues in Freight Distribution. *Environment & Planning A*, 38(8), 1449-1462.

Roorda, M. J., Cavalcante, R., McCabe, S., & Kwan, H. (2010). A conceptual framework for agent-based modelling of logistics services. *Transportation Research Part E*, 46, 18-31.

Schroeder, S. & Zilske, M., Liedtke, G., Nagel, K. (2011). Towards a Multi-Agent Logistics and Commercial Transport Model: The Transport Service Provider's View. Conference Proceeding to CITY LOGISTIGS, Mallorca.

Tavasszy, L., Ruijgrok, K., & Davydenko, I. (2010, July 11-15). Incorporating logistics in freight transportation models: State of the art and research opportunities. 12th WCTR. Lisbon, Portugal.

Tavasszy, L. (2006). Freight Modeling: An Overview of International Experiences. *Transportation Research Board Conference Proceedings*, 40, 47-55

Ülkü, M.A. (2009). Comparison of typical shipment consolidation programs: Structural Results. *Management Science and Engineering*, 3(4), 27-33.

Ülkü, M.A. (2012). Dare to care: Shipment consolidation reduces not only costs, but also environmental damage. *International Journal of Production Economics*, 139, 438-446.

Vernimmen, B., & Witlox, F. (2003). The Inventory-Theoretic Approach to Modal Choice in Freight Transport: Literature Review and Case Study. *Brussels Economic Review/Cahiers Economiques de Bruxelles*, 46(2), 5-29.

Vlaamse Overheid (2012), Vlaams Actie Pact 2020, 28 augustus 2012 via <http://www.vlaandereninactie.be/nlapps/docs/default.asp?id=415>.

Winston, C. (1983). The demand for freight transportation: models and applications. *Transportation Research Part A: General*, 17, 419-427.

Deel 6: Bijlagen

Bijlage A: Gerealiseerde links

	Genk	St.- Truiden	Antwerpen	Mechelen	Leuven	Zaventem	Gent	Aalst	Brugge	Kortrijk
Genk	2	1	15	2	3	3	6	2	3	2
St.-Truiden	1	0	8	1	1	2	3	1	1	1
Antwerpen	15	8	142	22	23	29	60	17	26	21
Mechelen	2	1	22	4	4	5	9	3	4	3
Leuven	3	1	23	4	4	5	10	3	4	3
Zaventem	3	2	29	5	5	6	12	4	5	4
Gent	6	3	60	9	10	12	25	7	11	9
Aalst	2	1	17	3	3	4	7	2	3	3
Brugge	3	1	26	4	4	5	11	3	5	4
Kortrijk	2	1	21	3	3	4	9	3	4	3

Tabel 35: de gerealiseerde links

Bijlage B: Gemeenschappelijke vertrekplaats

Genk	Sint-Truiden	Antwerpen	Mechelen	Leuven
Antwerpen Mechelen Zaventem Kortrijk	Genk Antwerpen	Genk Sint-Truiden Mechelen(2) Leuven(2) Zaventem Gent(4) Aalst Brugge (2) Kortrijk	Antwerpen (3) Zaventem Aalst	Antwerpen(2)

Zaventem	Gent	Aalst	Brugge	Kortrijk
Genk Antwerpen(2) Mechelen Gent	Antwerpen(3) Leuven Zaventem(2) Aalst Brugge (2)	Antwerpen Brugge	Sint-Truiden Antwerpen(2) Mechelen Gent	Genk Antwerpen Brugge Zaventem

Tabel 36: gemeenschappelijke vertrekplaats

Bijlage C: Gemeenschappelijke aankomstplaats

Genk	Sint-Truiden	Antwerpen	Mechelen	Leuven
Sint-Truiden Antwerpen Zaventem Kortrijk	Antwerpen Brugge	Genk Sint-Truiden Mechelen(3) Leuven(2) Zaventem(2) Gent(3) Aalst Brugge (2) Kortrijk	Genk Antwerpen (2) Zaventem Brugge	Antwerpen(2) Gent

Zaventem	Gent	Aalst	Brugge	Kortrijk
Genk Antwerpen Mechelen Gent(2) Kortrijk	Antwerpen(4) Zaventem Brugge	Antwerpen Mechelen Gent	Antwerpen(2) Gent(2) Aalst Kortrijk	Genk Antwerpen

Tabel 37: gemeenschappelijke aankomstplaats

Auteursrechtelijke overeenkomst

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

Simulatie van goederenvervoer in Vlaanderen

Richting: **master in de toegepaste economische wetenschappen:
handelsingenieur-operationeel management en logistiek**

Jaar: **2013**

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

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

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

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

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

Voor akkoord,

Vreys, Michaël

Datum: **2/06/2013**