

BEDRIJFSECONOMISCHE WETENSCHAPPEN

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

2010
2011

Masterproef

Invloed van logistieke beslissingen op transportkeuze

Promotor :
dr. Katrien RAMAEKERS

Copromotor :
dr. An CARIS

Frédéric Kerkhofs

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

universiteit
▶▶ hasselt

UNIVERSITEIT VAN DE TOEKOMST

Universiteit Hasselt | Campus Diepenbeek | Agoralaan Gebouw D | BE-3590 Diepenbeek
Universiteit Hasselt | Campus Hasselt | Martelarenlaan 42 | BE-3500 Hasselt

universiteit
▶▶ hasselt

UNIVERSITEIT VAN DE TOEKOMST

2 0 1 0
2 0 1 1

BEDRIJFSECONOMISCHE WETENSCHAPPEN

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

Masterproef

Invloed van logistieke beslissingen op transportkeuze

Promotor :
dr. Katrien RAMAEKERS

Copromotor :
dr. An CARIS

Frédéric Kerkhofs

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 vijfjarige opleiding aan de Universiteit Hasselt tot Handelsingenieur met als afstudeerrichting Operationeel Management en Logistiek. De interesse voor het onderwerp van deze masterproef werd reeds tijdens mijn opleiding gewekt en is me blijven boeien, aangezien het een kruising is tussen operationeel onderzoek, logistiek en een actueel onderwerp voor bedrijven.

Het schrijven van deze masterproef was enkel mogelijk dankzij een aantal mensen die daarvoor een woord van oprechte dank verdienen. Allereerst wens ik mijn promotor dr. Katrien Ramaekers te bedanken voor haar goede en snelle ondersteuning en opbouwende kritiek. Verder dank ik dr. An Caris voor de kritische beoordeling bij de tussentijdse evaluatie en opstelling van het onderzoeksplan. Ook wil ik Tabitha Maes bedanken voor haar advies en opvolging, alsook het ter beschikking stellen van verschillende nuttige documenten.

Op persoonlijk niveau wens ik een speciaal woord van dank te richten aan mijn ouders voor hun morele en financiële steun die ze me gegeven hebben tijdens mijn opleiding. Ook mijn medestudenten wil ik bedanken voor hun hulp en fijne momenten gedurende de afgelopen jaren. Tenslotte dank ik mijn vriendin bij wie ik altijd terecht kon voor steun tijdens mijn opleiding en het schrijven van deze masterproef.

Samenvatting

De keuzes die door een bedrijf gemaakt worden op het gebied van transport en voorraad hebben zowel direct als indirect een grote invloed op de andere onderdelen in de waardeketen. Een verkeerd voorraad- of transportbeleid kan immers tot bottlenecks of overschotten leiden, waardoor het gehele model niet meer optimaal verloopt.

De transportkeuze is dan ook belangrijk. Goederenmodellen, al dan niet gebaseerd op modellen voor personenvervoer, trachten deze transportkeuze te modelleren.

Ben-Akiva en de Jong (2007) stellen dat vele van deze modellen logistieke elementen missen, ook al speelt de opkomst van nieuwe theorieën (just-in-time, consolidatie, etc.) een grote rol bij de transportkeuze. Het is daarom belangrijk te analyseren hoe de transportkeuze tot stand komt, om zo de beïnvloedende (logistieke) factoren te kunnen bepalen.

In het tweede hoofdstuk wordt dan ook gestart met een **literatuurstudie** om na te gaan welke modellen voor goederentransport reeds bestaan. Hieruit blijkt dat vele modellen de logistieke keuzes buiten beschouwing laten. Toch werden deze modellen geanalyseerd om na te gaan op welke manier de keuze met betrekking tot transportmiddel tot stand komt.

Het ADA-model is het model dat de meest complete logistieke module bevat. Dit is mede mogelijk door de disaggregatie die plaatsvindt: de logistieke beslissingen worden geanalyseerd op bedrijfsniveau in plaats van op geaggregeerd niveau.

Het derde hoofdstuk is gericht op het bekijken van de hierboven beschreven **logistieke module**. Ben-Akiva en de Jong (2008) kwamen na het ontwikkelen van het ADA-model tot de conclusie dat er rekening gehouden moet worden met vier logistieke keuzes.

Allereerst moet er een beslissing genomen worden op het gebied van frequentie en grootte van de levering. Het zoeken van de optimale lotgrootte en frequentie kan

gebaseerd zijn op het EOQ-model. Daarnaast dient men keuzes te maken met betrekking tot de verpakkingseenheid, aangezien het mogelijk is om goederen in verschillende dragers te vervoeren. Ten derde moet het eventuele gebruik van consolidatie- en distributiecentra, terminals, etc. worden beschouwd. Ten slotte moet men nagaan per transportketen welke transportmodus gebruikt wordt.

De logistieke factoren die volgens verschillende andere auteurs een invloed hebben, worden samengevat in de literatuurstudie door Feo-Valero, García-Menéndez, Sáez-Carramolino en Furió-Pruñonosa (2011). De meest voorkomende factoren zijn de transportkost, transittijd, betrouwbaarheid, het gebruik van consolidatie en de leverfrequentie. De relatie tussen de leverfrequentie en het voorraadbeleid maakt dat deze laatste factor ook een rol speelt bij het maken van de transportkeuze.

Het **praktijkgedeelte** in het vierde hoofdstuk maakt gebruik van het ADA-model om de transportkeuze te analyseren. Dit gebeurt aan de hand van een fictieve case waarin via vier transportketens een lading verzonden wordt tussen twee locaties.

De beoordeling van de transportmodi wordt voorafgegaan door een optimalisering van de lotgrootte. Het optimaliseren van de lotgrootte gebeurt aan de hand van de EOQ-methode en is gebaseerd op de totale logistieke kosten. Deze houdt in dat de optimale lotgrootte wordt gezocht (onafhankelijk van de transportkost) om zo een interval van mogelijke lotgroottes, en dus ook bestelfrequenties, op te stellen. Het berekenen en minimaliseren van de totale logistieke kosten per bestelfrequentie leidt op die manier tot de laagst mogelijke totale logistieke kost per transportmodus.

Het onderling vergelijken van de laagst mogelijke totale logistieke kost laat toe na te gaan hoeveel een transportmodus minimaal kost in deze fictieve case. Dit leidt tot de uiteindelijke keuze van transportketen.

Het vijfde hoofdstuk bevat een **kritische reflectie** over het gebruikte model. Hieruit blijkt dat het correct verzamelen van de benodigde data vaak erg moeilijk is. Zo kunnen onder andere de transportkosten op diverse manieren berekend worden, hetgeen leidt tot andere resultaten. Het uitvoeren van een sensitiviteitsanalyse is dan ook steeds aangewezen.

Inhoudsopgave

Woord vooraf	I
Samenvatting	III
Inhoudsopgave	V
Lijst van afbeeldingen	IX
Lijst van tabellen	XI
1. Inleiding	1
1.1. Situering	1
1.2. Probleemstelling.....	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	6
2. Overzicht van modellen voor goederentransport	9
2.1. Belang van goederenmodellen	10
2.2. Vierstapsmodel	11
2.2.1. Productie/attractie.....	11
2.2.2. Distributie	13
2.2.3. Transportkeuze	15
2.2.4. Toewijzing/routing.....	17
2.3. Bespreking van het vierstapsmodel	17
2.4. Simulatiemodel van Liedtke.....	18
2.4.1. Generatiemodule.....	19
2.4.2. Sourcing module	20
2.4.3. Dynamische simulatie van transportmarkten	20
2.5. ADA-model.....	21
2.5.1. Opmerking met betrekking tot PC stromen (stap 1).....	23
2.5.2. Opmerking met betrekking tot logistieke beslissingen (stap 2 B)	24
2.6. Andere modellen	24
3. Logistieke module in goederenmodellen	27
3.1. Transportmodus	27
3.1.1. Wegverkeer.....	28
3.1.2. Spoor	28
3.1.3. Binnen- en zeevaart	29
3.1.4. Lucht.....	30

3.1.5.	Pijpleiding	30
3.1.6.	Vergelijking van transportmodi	30
3.2.	Logistieke factoren die de transportkeuze beïnvloeden	31
3.2.1.	Bespreking van factoren.....	31
3.2.2.	Voorraad	33
3.2.3.	Consolidatie.....	35
4.	Praktijkgedeelte	37
4.1.	Situering	37
4.2.	Keuze van voorbeeldbedrijf: verzender	38
4.2.1.	Ligging.....	38
4.3.	Keuze van voorbeeldbedrijf: ontvanger	40
4.4.	Keuze van goederen en transporteenheid	43
4.5.	Definitie van de transportmogelijkheden	45
4.5.1.	Kleine vrachtwagen	45
4.5.2.	Grote vrachtwagen (trekker-oplegger)	46
4.5.3.	Binnenvaart.....	47
4.5.4.	Trein	48
4.5.5.	Opmerking bij transportmogelijkheden	48
4.6.	Routes	49
4.6.1.	Weg (kleine en grote vrachtwagen)	49
4.6.2.	Water	50
4.6.3.	Spoor	50
4.6.4.	Natransport (water).....	51
4.6.5.	Natransport (spoor).....	52
4.7.	Relevante kosten.....	52
4.7.1.	Transportkosten	53
4.7.2.	Bestelkosten	55
4.7.3.	Transporttijdskosten	55
4.7.4.	Cyclische voorraadkosten	56
4.7.5.	Kosten van veiligheidsvoorraad	57
4.7.6.	Overslagkosten	58
4.7.7.	Niet beschouwde kosten.....	60
4.7.8.	Totaal van de logistieke kosten	61
4.8.	Optimalisering van transport- en voorraadkosten	62
4.8.1.	Stap 1	63
4.8.2.	Stap 2	63
4.8.3.	Stap 3	64

4.8.4.	Stap 4	64
4.8.5.	Stap 5	64
4.9.	Toepassing van optimalisatie op praktijkvoorbeeld	65
4.9.1.	Stap 1	65
4.9.2.	Stap 2	65
4.9.3.	Stap 3 en 4	66
4.9.4.	Stap 5	69
4.10.	Sensitiviteitsanalyse van transportkosten – deel A.....	70
4.10.1.	Stap 3 en 4	70
4.11.	Sensitiviteitsanalyse van transportkosten – deel B.....	74
4.11.1.	Stap 3 en 4	74
4.12.	Bespreking van de sensitiviteitsanalyse met betrekking tot transportkosten	77
5.	Kritische reflectie	81
5.1.	Inleiding	81
5.2.	Gebruik van inputgegevens	81
5.3.	Veronderstellingen die gemaakt worden bij het opstellen van het model	87
6.	Conclusie.....	89
6.1.	Integratie logistieke beslissingen en transportkeuze	89
6.2.	Analyse van logistieke module	89
6.3.	Bespreking van praktijkgedeelte	90
7.	Lijst van geraadpleegde werken.....	93
8.	Bijlagen	97
8.1.	Bijlage 1: Uitgewerkt voorbeeld van zwaartekrachtmodel	97
8.2.	Bijlage 2: Verkeerstellingen E313 (2006)	100
8.3.	Bijlage 3: Spoorwegtraject tussen WCT Laakdal en distributiecentrum Genk	101
8.4.	Bijlage 4: Traditionele ABC vs. Time-Driven ABC	103
8.5.	Bijlage 5: Berekenen van TLC per transportketen	105
8.5.1.	Keten 1: via kleine vrachtwagen	105
8.5.2.	Keten 2: via grote vrachtwagen	108
8.5.3.	Keten 3: via schip, natransport via grote vrachtwagen	110
8.5.4.	Keten 4: via trein, natransport via grote vrachtwagen	113

Lijst van afbeeldingen

Figuur 1. Voorbeeld van een productie-attractie matrix	12
Figuur 2. Voorbeeld van een distributie matrix	14
Figuur 3. Voorbeeld van modal split	16
Figuur 4. Voorbeeld van een kortste pad probleem. De getallen op de paden kunnen zowel kosten, tijd als afstanden beschrijven. (Hillier & Lieberman, 2010).....	17
Figuur 5. simulatiemodules in INTERLOG. (Liedtke, 2009)	19
Figuur 6. ADA model. (Baak, Ben-Akiva, & De Jong, 2008)	23
Figuur 7. Consolidatie en distributie: het vervoer van goederen tussen locatie A en B wordt geconsolideerd te C en gedeconsolideerd te D. (Ben-Akiva & De Jong, 2007).....	35
Figuur 8. Ligging van Laakdal.....	38
Figuur 9. Transportinfrastructuur in de nabijheid van bedrijventerrein Laakdal.	39
Figuur 10. Waterwegen Vlaanderen. (Schreurs, (z.d.))	41
Figuur 11. Spoorwegen België. (Egs, 2005)	41
Figuur 12. Autosnelwegen België. (Blum, 2007)	42
Figuur 13. Transportinfrastructuur in de nabijheid van het distributiecentrum te Genk.....	43
Figuur 14. Wegbeschrijving volgens routenet.be.....	50
Figuur 15. Wegbeschrijving volgens routenet.be.....	51
Figuur 16. Poisson multiplier. (Blauwens et al., 2002, in Vernimmen & Witlox, 2003)	58
Figuur 17. Overslagkosten van WCT Meerhout. (Van Breedam & Vannieuwenhuysse, 2007).....	60
Figuur 18. Verdeling van de logistieke kosten per transportmodus.	62
Figuur 19. Vergelijking totale logistieke kosten.....	80
Figuur 20. Randvoorwaarden in een OD-matrix (Immers & Stada, 2011).....	97
Figuur 21. Weerstand van gegevens	97
Figuur 22. OD matrix ingevuld met gegevens uit distributiefunctie.....	98
Figuur 23. Resultaten voorbeeld zwaartekrachtmodel.....	99
Figuur 24. Verkeerstellingen E313 (Vlaamse Overheid - Agentschap Infrastructuur afdeling Verkeerskunde, 2006).....	100
Figuur 25. Schematische netkaart. (Infrabel, 2011)	101

Figuur 26. Verschillen tussen de twee ABC methodes. (Van Breedam & Vannieuwenhuyse, 2007)	103
Figuur 27. Verschillen tussen de twee ABC methodes. (Van Breedam & Vannieuwenhuyse, 2007)	104

Lijst van tabellen

Tabel 1. SWOT-analyse van verschillende transportmodi. (Vannieuwenhuyse, 2003, in Berghmans, 2006)	31
Tabel 2. Vergelijking kenmerken transportmodi. (Vannieuwenhuyse, 2006, in Ribus, 2007).....	31
Tabel 3. Attributen die een invloed hebben op de transportkeuze. (aangepast uit Feo-Valero et al., 2011)	32
Tabel 4. Gegevens met betrekking tot fictieve lading.	44
Tabel 5. Gegevens Opel Movano uit brochure Opel.....	45
Tabel 6. Gegevens Iveco Stralis.....	46
Tabel 7. Gegevens Kempenaar uit brochure binnenvaart.be	47
Tabel 8. Gegevens trein.	48
Tabel 9. Routegegevens kleine vrachtwagen.	49
Tabel 10. Routegegevens grote vrachtwagen.	49
Tabel 11. Routegegevens boot.	50
Tabel 12. Routegegevens trein.	51
Tabel 13. Routegegevens natransport boot.	51
Tabel 14. Routegegevens natransport trein.....	52
Tabel 15. Vergelijking transportkosten.	54
Tabel 16. Transportkosten per transportmodus.	54
Tabel 17. Transportkosten. (eigen berekeningen)	55
Tabel 18. Bestelkosten. (eigen berekeningen)	55
Tabel 19. Transporttijdskosten. (eigen berekeningen).....	56
Tabel 20. Cyclische voorraadkosten. (eigen berekeningen)	57
Tabel 21. Kosten van veiligheidsvoorraad. (eigen berekeningen)	58
Tabel 22. Overslag- en laad/loskosten. (eigen berekeningen).....	60
Tabel 23. Totaal van de logistieke kosten. (eigen berekeningen)	61
Tabel 24. Kerngegevens per bestelling.	61
Tabel 25. Berekening van interval.....	66
Tabel 26. Interval met totale logistieke kosten voor grote vrachtwagen. (eigen berekeningen).....	67
Tabel 27. Interval met totale logistieke kosten voor schip. (eigen berekeningen) ..	68
Tabel 28. Interval met totale logistieke kosten voor trein. (eigen berekeningen) ..	69
Tabel 29. Transportkosten per ton-km.	70

Tabel 30. Interval met totale logistieke kosten voor grote vrachtwagen. (eigen berekeningen).....	71
Tabel 31. Interval met totale logistieke kosten voor schip. (eigen berekeningen) ..	72
Tabel 32. Interval met totale logistieke kosten voor trein. (eigen berekeningen) ..	73
Tabel 33. Transportkosten per ton-uur en per ton-km.	74
Tabel 34. Interval met totale logistieke kosten voor grote vrachtwagen. (eigen berekeningen).....	75
Tabel 35. Interval met totale logistieke kosten voor schip. (eigen berekeningen) ..	76
Tabel 36. Interval met totale logistieke kosten voor trein. (eigen berekeningen) ..	77
Tabel 37. Vergelijking van totale logistieke kosten per berekeningswijze (schip – incl. natransport).....	79
Tabel 38. Benodigde gegevens.	84
Tabel 39. Traject WCT – Y.Wolfstee (22,5 km)	101
Tabel 40. Traject Y.Wolfstee – Y.Albertkanaal (0,5 km)	101
Tabel 41. Traject Y.Albertkanaal – Y.Zonhoven (63,1 km).....	102
Tabel 42. Traject Y.Zonhoven – Genk-Goederen (14,3 km).....	102
Tabel 43. Transportkosten voor kleine vrachtwagen	105
Tabel 44. Bestelkosten voor kleine vrachtwagen.....	106
Tabel 45. Transporttijdskosten voor kleine vrachtwagen	106
Tabel 46. Cyclische voorraadkosten voor kleine vrachtwagen	106
Tabel 47. Kosten van veiligheidsvoorraad voor kleine vrachtwagen	107
Tabel 48. Overslagkosten voor kleine vrachtwagen	107
Tabel 49. Transportkosten voor grote vrachtwagen.....	108
Tabel 50. Bestelkosten voor grote vrachtwagen.....	108
Tabel 51. Transporttijdskosten voor grote vrachtwagen	108
Tabel 52. Cyclische voorraadkosten voor grote vrachtwagen	109
Tabel 53. Kosten van veiligheidsvoorraad voor grote vrachtwagen.....	109
Tabel 54. Overslagkosten voor grote vrachtwagen	110
Tabel 55. Transportkosten voor schip.....	110
Tabel 56. Bestelkosten voor schip.....	111
Tabel 57. Transporttijdskosten voor schip	111
Tabel 58. Cyclische voorraadkosten voor schip	111
Tabel 59. Kosten van veiligheidsvoorraad voor schip.....	112
Tabel 60. Overslagkosten voor schip	112
Tabel 61. Transportkosten voor trein	113

Tabel 62. Bestelkosten voor trein	113
Tabel 63. Transporttijdskosten voor trein	115
Tabel 64. Cyclische voorraadkosten voor trein.....	115
Tabel 65. Kosten van veiligheidsvoorraad voor trein.....	115
Tabel 66. Overslagkosten voor trein.....	116

1. Inleiding

1.1. Situering

De keuzes die een bedrijf moet maken met betrekking tot transport en voorraad hebben direct en indirect een grote invloed op de andere onderdelen in de waardeketen. Zo leidt een te traag transport of een te lage voorraad tot bottlenecks bij de productie, waardoor het gehele model niet meer optimaal verloopt. Men dient dus belangrijke strategische beslissingen te nemen op het gebied van voorraad en transport.

Aan de ene kant wil een bedrijf de transportkosten zo laag mogelijk houden, door zo weinig mogelijk leveringen uit te voeren via het goedkoopste transportmiddel (Vernimmen & Witlox, 2003). Dit heeft tot gevolg dat de voorraad flexibel moet zijn en in grote hoeveelheden geleverd en opgeslagen moet worden. Aan de andere kant zijn er de kosten die gerelateerd zijn aan voorraad die men wil minimaliseren. Hierdoor zou men erg veel leveringen willen uitvoeren in kleine hoeveelheden, zodat er zo goed als geen voorraad is (Kang & Kim, 2010). Dit leunt erg aan bij een Just In Time systeem, waarbij een leverancier instaat voor het leveren van een product aan een klant op het exacte tijdstip dat er nood is aan dit product.

Traditioneel beschouwde een bedrijf het logistieke en transportbeleid als aparte entiteiten (Pan, Tang, & Fung, 2009). De output van de ene beslissing werd de input van de andere beslissing. Zo zocht men bijvoorbeeld in sommige gevallen de optimale voorraad, om hier het transportbeleid aan aan te passen. In andere gevallen zocht men het beste transportmiddel, waardoor het logistieke gedeelte zich moest aanpassen. Doordat de wisselwerking tussen deze twee entiteiten verloren ging, bevond het bedrijf zich in een suboptimale toestand (Andersson, Hoff, Christiansen, Hasle, & Lokketangen, 2010).

Daardoor ontstond er de nood om deze twee beslissingen te combineren, zodat er bij het maken van de beslissing simultaan rekening kon gehouden worden met zowel de kosten die gerelateerd zijn aan transport als diegenen die samenhangen met de logistieke keuzes, waaronder voorraad.

Het volstaat evenwel niet om enkel de gecombineerde kosten te minimaliseren, er dient ook gekeken te worden naar de haalbaarheid. Zo kan het bijvoorbeeld het meest voordelig zijn om iets wekelijks via schip te laten leveren, maar indien er geen haven in de buurt is of indien er tweemaal per week geleverd moet worden, is deze optie onhaalbaar.

Deze problematiek heeft transportbedrijven dan ook aangezet tot het verruimen van hun activiteiten. Daar waar ze vroeger enkel bezig waren met het transport, doen deze nu ook vaker aan voorraadbeheer om de totale logistieke kosten zo laag mogelijk te houden (Andersson, et al., 2010). Een andere optie is het ontwikkelen van een Vendor Managed Inventory-systeem, waarbij de leverancier de verantwoordelijkheid krijgt over alle voorraadgerelateerde beslissingen. Hierdoor kan deze leverancier een optimaal transport- en voorraadbeleid vastleggen voor de klant.

Niet enkel voorraad speelt een rol bij het bepalen van het optimale transportmiddel, ook het toepassen van consolidatie is een van de factoren die de transportkeuze kunnen beïnvloeden. Consolidatie is het bundelen van producten, om op die manier bijvoorbeeld vollere vrachtwagens, wagons of boten te bekomen. Dit leidt tot een andere kostenstructuur (onder andere een lagere transportkost), waardoor ook de transportkeuze beïnvloed zal worden (Ben-Akiva & De Jong, 2007).

1.2. Probleemstelling

1.2.1. Centrale onderzoeksvraag

Het hierboven besproken praktijkprobleem geeft aan dat er nood is aan onderzoek op het gebied van de wisselwerking tussen transport en logistieke keuzes. In dit onderzoek wordt er vooral aandacht besteed aan de manier waarop (bestaande) goederenmodellen rekening houden met de logistieke factoren. Dit leidt tot de volgende centrale onderzoeksvraag:

Welke factoren beïnvloeden de transportkeuze en hoe kan dit gemodelleerd worden op een consistente manier?

1.2.2. Deelvragen

Om deze centrale onderzoeksvraag te kunnen beantwoorden, worden drie deelvragen gebruikt.

1. Welke goederenmodellen bestaan er?

Deze deelvraag onderzoekt welke goederenmodellen er in de literatuur beschreven worden en uit welke elementen, fasen en methoden deze bestaan. Het is belangrijk een overzicht te hebben van de belangrijkste goederenmodellen en hun toepassingen. Zo kunnen de modellen die, zij het minimaal, rekening houden met de logistieke beslissing, nader bekeken worden. De eerste deelvraag zal grotendeels bestaan uit het uitvoeren van een literatuurstudie.

2. Welke factoren hebben een invloed op de logistieke beslissing?

Om in het praktijkgedeelte de relatie tussen de logistieke beslissing en de transportkeuze te modelleren, is het belangrijk te weten welke factoren een rol spelen bij deze logistieke beslissing. Ook de mate van beïnvloeding zal in deze stap toegelicht worden.

3. Hoe kunnen de totale logistieke kosten bijdragen tot de keuze met betrekking tot transportmodus en bestelhoeveelheid?

In het praktijkgedeelte van deze masterproef zal de transportbeslissing verder geanalyseerd en uitgewerkt worden aan de hand van een numeriek voorbeeld.

4. Welke gegevens zijn er nodig om een totale logistieke kosten-model op te stellen?

Deze laatste deelvraag omvat een kritische reflectie na het uitvoeren van het praktijkgedeelte. Hierbij wordt onder andere gekeken naar de noodzakelijke data, beperkingen van het gebruikte model en veronderstellingen.

1.3. Methodologie

Om de beïnvloeding van de transportkeuze te onderzoeken, zal er zowel een kwalitatief als een kwantitatief onderzoek gevoerd worden. In de literatuurstudie worden de bestaande goederenmodellen toegelicht en samengevat, terwijl het kwantitatieve onderzoek zich concentreert op de toepassing in de praktijk.

1.3.1. Kwalitatief onderzoek

In de literatuurstudie wordt nagegaan welke onderzoeken, modellen en theorieën er reeds bestaan op het gebied van integratie tussen transport en logistiek. Op die manier worden de juiste basiselementen voor het kwantitatieve gedeelte duidelijk.

De nadruk van het kwalitatieve onderzoek ligt vooral op het analyseren van secundaire bronnen, dus de bestaande wetenschappelijke artikels, boeken en tijdschriften. De UHasselt stelt via haar website verschillende zoekmachines ter beschikking, dewelke zoeken in databases van nationale en internationale publicaties. Het zoeken naar wetenschappelijke artikels voor deze masterproef gebeurt hoofdzakelijk via de zoekmachine van EBSCOhost, EJS Articles, Google Scholar, Anet en Bronco. Deze eerste drie zoekmachines geven een overzicht van de gepubliceerde werken over een bepaald topic, en stellen, indien aanwezig, een directe link naar de digitale full tekst ter beschikking. Gecombineerd doorzoeken deze drie enkele miljoenen artikels over diverse topics. De laatste twee zoekmachines geven een overzicht van de beschikbare geprinte werken in de Belgische bibliotheken, die op verzoek tussen de diverse bibliotheken uitgewisseld kunnen worden. Een praktisch voordeel aan het werken met deze zoekmachines is de directe link met Endnote Web. Zo kan een gevonden artikel meteen opgenomen worden in een lijst met referenties, die in het juiste formaat in de masterproef ingevoegd kan worden.

De trefwoorden die opgegeven worden in de diverse zoekmachines, zijn voornamelijk logistieke termen of synoniemen hierop. Zo wordt er gestart met het zoeken naar termen zoals "inventory logistics", "transport inventory", "mode choice modelling", "transportation model" en "integrated logistics".

Het gebruiken van opgegeven referenties in gevonden artikels kan ook leiden tot

erg goede resultaten. Zo kan een bepaalde, algemene paper die op zich weinig bijdraagt aan het onderzoek, toch referenties bevatten naar concrete papers. Het voordeel van het gebruik van deze referenties is de volledigheid van de informatie. Aangezien titel, auteur en plaats van publicatie standaard gegeven worden, is het vinden van de full tekst van deze artikels relatief eenvoudig.

Op het gebied van logistiek, transport en voorraad zijn er geen kenmerkende periodes te onderscheiden. Hierdoor hoeven we onze initiële zoektocht niet te beperken op het gebied van jaartal. Indien toch zou blijken dat een nuttig artikel verouderde informatie bevat (bijvoorbeeld het gebruik van verouderde transportmiddelen of software), kan dit opgemerkt worden in het literatuuronderzoek. Het is erg belangrijk dat er tot en met 2011 wordt gezocht. Het toenemende verkeer op de wegen leidt tot een actiever denken over optimale logistieke beslissingen, waardoor er vermoedelijk artikels bestaan die de meest recente ontwikkelingen bevatten.

De talen waarin informatie gezocht wordt, zijn Nederlands en Engels. Aangezien de focus van deze masterproef zich niet beperkt tot één bepaald geografisch gebied, is het nuttig om gebruik te kunnen maken van publicaties uit andere landen. Aangezien Engels de standaardtaal is in wetenschappelijke boeken, artikels en tijdschrift, nemen we deze taal ook mee op. Andere talen worden buiten beschouwing gelaten.

1.3.2. Kwantitatief onderzoek

In het tweede gedeelte van deze masterproef wordt een praktijkvoorbeeld uitgewerkt. Dit voorbeeld zal uitleggen hoe de derde stap van het vierstapsmodel (de transportkeuze) in de praktijk gebruikt kan worden. Hierbij wordt uitgaan van een fictief product dat tussen twee locaties dient getransporteerd te worden.

Allereerst zullen enkele parameters en gegevens bepaald moeten worden. Zo moet er een keuze gemaakt worden met betrekking tot de locatie van de verzender en ontvanger, het type en aantal goederen, mogelijke transportketens en transportmodi. Hierna kunnen deze gegevens gecombineerd worden om zo het

vierstapsmodel te gebruiken om een beeld te vormen van de logistieke beslissingen die relevant zijn voor de transportkeuze.

Aangezien dit strikt gezien geen gevalstudie is waarbij twee reële bedrijven een bestaand probleem laten oplossen, zullen er onvermijdelijk veronderstellingen gemaakt dienen te worden om alle nodige gegevens te bekomen. Het is dan ook erg belangrijk op te merken dat het praktijkgedeelte géén toepassing is op een reële situatie, eerder een methode om aan de hand van een fictieve case na te gaan op welke manier totale logistieke kosten berekend en gebruikt kunnen worden in transportmodellen.

Om na te gaan welke invloeden de gemaakte veronderstellingen en gekozen gegevens hebben, kan er een sensitiviteitsanalyse uitgevoerd worden, dewelke zal duidelijk maken hoeveel invloed een bepaald gegeven heeft.

Het praktijkgedeelte wordt afgesloten met een kritische reflectie over de gegevens die nodig zijn bij het nemen van beslissingen met betrekking tot transportkosten.

2. Overzicht van modellen voor goederentransport

Het doel van een goederenmodel is het genereren van schattingen van hoeveelheden die getransporteerd moeten worden. Vele van de goederenmodellen die gebruikt worden, zijn oorspronkelijk ontwikkeld voor personenvervoer (De Jong, Gunn, & Walker, 2004). Door enkele stappen toe te voegen kunnen deze modellen ook toegepast worden op het goederentransport.

Het modelleren van goederentransport is evenwel complexer dan het modelleren van personenvervoer (Liedtke, 2009). Allereerst zijn er verzenders en ontvangers van goederen die betrokken zijn bij de logistieke beslissing verbonden aan het bestellen en produceren. Daarnaast zijn er transporteurs die het planningsprobleem oplossen en forwarders die transportketens coördineren. Deze verschillende actoren maken het moeilijk om een goede geïntegreerde beslissing te nemen.

Het is erg belangrijk een idee te krijgen van de factoren en beslissingen die een rol spelen in een model voor goederentransport. Deze gegevens kunnen onder andere gebruikt worden als input bij het onderzoek naar effecten van vrijmaking van de transportmarkt, de voordelen van monopolies bij het spoorvervoer of mogelijke vraag naar nieuwe transportmodi (Daughety, 1985).

In onderstaande bespreking wordt uitgegaan van twee verschillende types data. Deze soorten verschillen op het niveau van aggregatie en hebben elk hun eigen specifieke toepassingen (De Maeyer & Pauwels, 2003).

Aan de ene kant is er geaggregeerde (aggregaat, samengesteld) data. Dit is de som van observaties die worden voorgesteld door middel van bepaalde variabelen. Een voorbeeld hiervan is de goederenstroom tussen verschillende gebieden. Deze stroom zal bestaan uit gemiddelde en gesommeerde waarden die gebaseerd zijn op de individuele observaties. Hierdoor gaat er detail verloren, hetgeen wel maakt dat het rekenen met geaggregeerde data makkelijker verloopt.

Aan de andere kant is er gedisaggregeerde data. Dit houdt in dat de data gebaseerd is op individuele observaties, bijvoorbeeld data met betrekking tot één

bepaalde levering. Omdat er geen details verloren gaan, is gedisaggregeerde data veel preciezer dan geaggregeerde data. Hierbij komt wel dat het verzamelen van gedisaggregeerde data veel duurder en ingewikkelder is.

In dit hoofdstuk wordt eerst ingegaan op het belang van goederenmodellen. Hierna volgt is een bespreking van het populaire vierstapsmodel, het simulatiemodel van Liedtke (2009), het ADA-model van Ben-Akiva en De Jong (2008) en andere modellen.

2.1. Belang van goederenmodellen

Tavasszy (2008) vermeldt verschillende redenen voor de groeiende aandacht voor goederenmodellen.

Zo worden er steeds meer en meer goederen vervoerd. De World Business Council for Sustainable Development (2004, in Tavasszy, 2008) verwacht tegen 2050 een verdubbeling van het goederenvervoer.

Aangezien goederen steeds vaker door meer en kleinere vrachtwagens worden vervoerd, wordt goederenvervoer dominanter op de wegen. Hier hangt ook de problematiek van files mee samen. Een goederenmodel kan helpen om bv. de transporten te spreiden over verschillende periodes van de dag.

De impact op het milieu van goederenvervoer krijgt ook een meer uitgesproken rol. Zo zijn er nieuwe wetten met betrekking tot uitstoot en vragen geluidsnormen meer aandacht voor het plannen van de goederenstromen.

Ten slotte stijgt ook de focus op prijzen. Om competitief te blijven in een veranderende en globale economie is het belangrijk de kosten zo laag mogelijk te houden. Het efficiënt plannen van goederenstromen is dan ook van groot belang.

2.2. Vierstapsmodel

Op zowel internationaal, nationaal als regionaal niveau wordt meestal hetzelfde vierstapsmodel toegepast (Ben-Akiva & De Jong, 2007).

Onder andere De Jong et al. (2004), Ben-Akiva en de Jong (2009) en Ortúzar en Willumsen (1995) beschrijven dit model.

2.2.1. Productie/attractie

In deze stap wordt er onderzocht aan de hand van geaggregeerde data hoeveel van een bepaald product tussen twee zones moet verplaatst worden. Dit wordt beschreven in een OD (origin-destination) matrix. Ortúzar en Willumsen (1995) noemen deze stap "trip generation". Dit bestaat uit het verzamelen van data met betrekking tot populatie in verschillende zones, de economische activiteit per zone en de ligging van andere faciliteiten (scholen, fabrieken, stations, ...). Belangrijke variabelen in de productie/attractie stap zijn aantal werknemers, verkoopscijfers en oppervlakte van het bedrijf. Hoewel het de toegankelijkheid of de sector van een bedrijf belangrijk lijkt, stellen Ortúzar en Willumsen (1995) vast dat deze twee variabelen geen rol spelen. Hieruit volgt de conclusie dat verschillende producten niet per definitie verschillende transportvereisten hebben.

Liedtke (2009) beschrijft deze stap als de berekening van een geaggregeerde monetaire goederenflow matrix. Deze monetaire matrix wordt vervolgens geconverteerd naar een matrix in aantal ton.

Een mogelijke uitkomst van de productie-attractie matrix wordt getoond in figuur 1. De eenheid die gebruikt wordt is aantal ton.

2.2.2. Distributie

De resultaten uit de eerste stap geven een globaal beeld, maar zijn niet voldoende voor het modelleren en het nemen van een beslissing met betrekking tot transportkeuzes. Om een beter beeld te krijgen, worden in deze stap de stromen van goederen tussen de locaties bepaald. Ook deze stap is gebaseerd op geaggregeerde data.

Het zwaartekrachtmodel is een model dat ontworpen is om een OD-matrix (uit stap 1) naar een distributiematrix te converteren (Immers & Stada, 2011). Onder andere de Nederlandse TEM-II en SMILE modellen gebruiken dit zwaartekrachtmodel om een distributiematrix te creëren (De Jong, et al., 2004). Een voorbeeld van de rekenmethode is uitgewerkt in Bijlage 1.

Een andere methode is het gebruik van de input-output methode, dat zowel de productie-attractie- als distributiematrices kan berekenen in een enkele stap (ME&P & WSP, 2002). Deze input-output methode beschrijft eerst in monetaire eenheden hoeveel iedere sector in een economie levert aan andere sectoren. Door dit te combineren met de finale vraag door klanten, import- en exportgegevens en spatiale verdelingen kan een oorsprong-bestemming-matrix bekomen worden. Aan de hand van waarde per volume ratio's kunnen de distributiematrices berekend worden.

Figuur 2 toont het resultaat na deze tweede stap.

Distributiemodel							
	Van						
Naar	↓→	A	B	C	D		
A	-	100	30	70	200		
B	20	-	20	25	65		
C	95	20	-	5	120		
D	5	20	20	-	45		
		120	140	70	100		
Hoeveelheden in ton							

Figuur 2. Voorbeeld van een distributie matrix

2.2.3. Transportkeuze

De keuze van transportmodus is waarschijnlijk de meest belangrijke in het hele model. Deze heeft niet alleen een invloed op de algemene efficiëntie (de mate waarin bijvoorbeeld de wegen niet overstelpt worden door vrachtwagens), maar ook op de kostenfunctie van een bedrijf. Zo brengt iedere transportmodus specifieke lonen en investeringen met zich mee.

In deze stap worden de goederenstromen toegewezen aan transportmodi. Dit kan volgens De Jong et al. (2004) zowel door het gebruik van geaggregeerde als gedisaggregeerde data. In figuur 3 wordt een voorbeeld getoond van modal split.

Ortúzar en Willumsen (1995) onderscheiden in drie groepen de factoren die een invloed hebben op de transportmodus. Deze factoren hebben weliswaar betrekking op personenvervoer, maar waar van toepassing gelden deze ook voor goederentransport (aangeduid met *):

Eigenschappen van het individu dat de trip maakt

- ✓ Beschikbaarheid van een voertuig (*)
- ✓ Bezit van rijbewijs (*)
- ✓ Structuur van het huishouden (aantal kinderen, koppels, etc.)
- ✓ Inkomen
- ✓ Externe beslissingen, bijvoorbeeld de wagen die nodig is op het werk
- ✓ Dichtheid van de bevolking

Eigenschappen van de trip

- ✓ Doel van de trip, bijvoorbeeld de trip van/naar het werk is makkelijker per openbaar vervoer omwille van de regelmaat waarmee het openbaar vervoer rijdt
- ✓ Tijdstip van de trip: iets tijdens het spitsuur vervoeren zal per definitie langer duren dan buiten de spitsuren (*)

Eigenschappen van de transportfaciliteit

- ✓ Relatieve reistijd: het onderweg zijn, wachten, in- en uitladen (*)
- ✓ Relatieve kost (lonen, brandstof, taxen en directe kosten) (*)
- ✓ Beschikbaarheid en kost van parkeren
- ✓ Comfort en gemak
- ✓ Betrouwbaarheid, flexibiliteit en regelmaat (*)
- ✓ Bescherming en beveiliging (*)

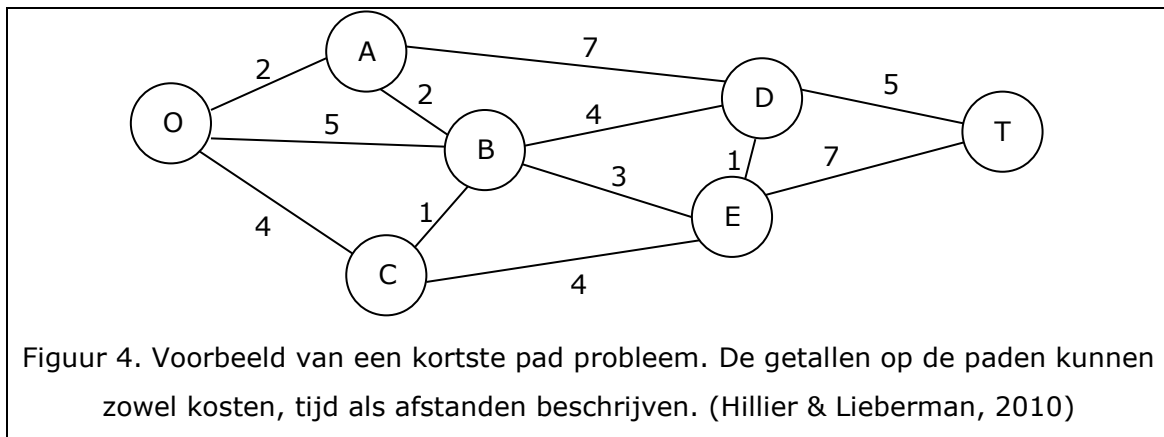
Modal split							
	Van						
Naar	↕	A	B	C	D		
A		-	100	30	70	200	
B		20	-	20	25	65	
C		95	20	-	5	120	
D		5	20	20	-	45	
		120	140	70	100		
	Vrachtwagen		355 ton				
	Spoorweg		75 ton				
	Hoeveelheden in ton						

Figuur 3. Voorbeeld van modal split

2.2.4. Toewijzing/routing

In deze laatste stap worden de stromen tussen locaties omgezet naar een concrete planning. Hier wordt allereerst het aantal te vervoeren ton omgezet in aantal voertuigen.

Door middel van algoritmes en GIS-software kunnen tegenwoordig complexe routeringsproblemen opgelost worden, om zo routes toe te wijzen aan de diverse transportmodi (Hillier & Lieberman, 2010). Deze algoritmes zijn gebaseerd op knooppunten en de connecties hiertussen (paden). Een voorbeeld hiervan is het kortste pad probleem, hetgeen als doel heeft om het kortste (of goedkoopste) pad te vinden tussen twee locaties (figuur 4).



Figuur 4. Voorbeeld van een kortste pad probleem. De getallen op de paden kunnen zowel kosten, tijd als afstanden beschrijven. (Hillier & Lieberman, 2010)

2.3. Bespreking van het vierstapsmodel

Het vierstapsmodel wordt steeds uitgevoerd op het geaggregeerde niveau. Dit houdt in dat de data minder detail bevat, maar ook dat het makkelijker en sneller is om deze data te verzamelen.

Ortúzar en Willumsen (1995) beschrijven een model dat simultaan de keuze neemt met betrekking tot trip frequentie, bestemming en transportmodus. Dit soort van aanpassingen ten opzichte van het vierstapsmodel is eerder een hulp bij onderzoek dan dat het een praktische toepassing heeft.

Ook al is het belang van een geïntegreerd model voor logistiek en transport duidelijk, de meeste gekende modellen behandelen deze twee topics apart (Liedtke,

2009). Zowel dit traditionele vierstapsmodel als varianten hierop laten dan ook geen integratie toe van logistieke elementen. Rekening houdend met de snelle logistieke veranderingen zoals de opkomst van Just In Time, is het interessanter een model te beschouwen dat wel ruimte laat voor logistieke beslissingen. Er wordt immers te vaak enkel gekeken naar de determinanten die verbonden zijn aan de transportmodus (bijvoorbeeld de vereiste investering), terwijl andere transport- of productiefactoren genegeerd worden. Voorbeelden hiervan zijn de grootte en frequentie van het transport (Daughety, 1985).

Twee belangrijke modellen die wel rekening houden met de integratie van de logistiek en transport zijn het model van Liedtke en het ADA-model. Deze modellen zullen hieronder besproken worden. Daarna volgt een korte beschrijving van de overige bestaande modellen.

2.4. Simulatiemodel van Liedtke

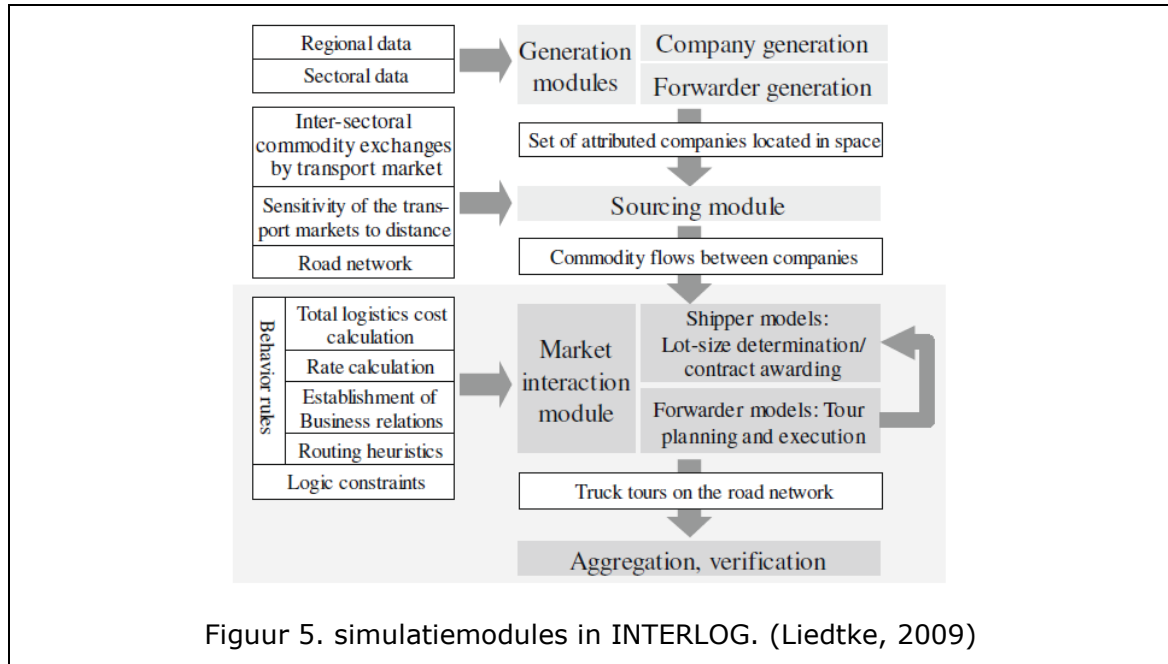
Het model van Liedtke (2009) is ontworpen om het lange-afstandstransport in Duitsland te modelleren met behulp van INTERLOG¹. Liedtke beschrijft een concept waarin verschillende logistieke- en transportprocessen op een micro-economisch niveau worden gemodelleerd. Dit houdt in dat er duidelijk onderscheid wordt gemaakt tussen de verschillende beslissingsmakers met betrekking tot logistiek en transport, elk met hun eigen rollen en beslissingsregels.

Het model maakt vanaf het begin een duidelijk onderscheid tussen endogene en exogene variabelen. De endogene variabelen worden beïnvloed vanuit het model, terwijl dit voor exogene variabelen niet het geval is.

Aan de hand van de operationele software INTERLOG kunnen de simulaties uitgevoerd worden op drie opeenvolgende modules (figuur 5). De eerste stap genereert een ruimtelijke verdeling van heterogene bedrijven, gebaseerd op de beschikbare statistieken (generatiemodule). Hierna wordt een relatie tussen zender

¹ INTERLOG is een systeem dat dat het bieden op transportcontracten simuleert, rekening houdend met de verschillende beslissingen met betrekking tot lotgrootte en routing.

en ontvanger opgebouwd en bepalen bedrijven de vraag naar goederen (sourcing module). Ten slotte wordt een interactieve markt gesimuleerd, waarin goederenstromen verdeeld worden in individuele zendingen en contracten worden toegewezen (dynamische simulatie).



2.4.1. Generatiemodule

De generatiemodule heeft als doel een virtuele industrie te creëren waarin zich meerdere transporteurs, ontvangers en transportondernemingen bevinden. Allereerst worden er via een algoritme stapsgewijs en willekeurig ondernemingen gecreëerd (via het zgn. Monte Carlo algoritme). Hierna wordt de grootte van het zonet gegenereerde bedrijf bepaald aan de hand van beschikbare statistische data. Deze data bevat informatie over de verdeling van de grootte van bedrijven op een nationaal niveau en informatie over het aantal werknemers per sector en per regio. Een branch-and-bound algoritme wordt ten slotte gebruikt om na te gaan of de grootte van het bedrijf kleiner is dan de beschikbare structurele data op dit regionale niveau. Aan de hand hiervan wordt ieder gegenereerd bedrijf vastgezet in een bepaalde geografische zone.

Het eindproduct van deze generatiemodule is een ruimtelijke verdeling van bedrijven, die vervolgens kan worden gelinkt aan de vraag en aanbod van transport.

2.4.2. Sourcing module

In de sourcing module worden relaties gecreëerd tussen zenders en ontvangers en berekent men de vraag naar bepaalde goederen.

Allereerst maakt men een keuze tussen de diverse leveranciers. Dit doet men door de beschikbaarheid van het product (resterende ongebruikte capaciteit), kost van transport, communicatie, afstand, risico binnen de supply chain en nuttigheid van het product te beschouwen. Hierna bekijkt men de onderlinge uitwisseling van goederen. Hiervoor zijn monetaire input/output matrices nodig, om zo de stromen tussen verschillende sectoren te begrijpen.

2.4.3. Dynamische simulatie van transportmarkten

Deze module is ontworpen zodat de transporteurs de goederenstroom kunnen verdelen in individuele leveringen volgens de kostenminimaliserende aanpak. Deze verdeling wordt op twee niveaus uitgevoerd.

Allereerst wordt er gekeken naar de vraagzijde van het transport. Dit houdt in dat er over contracten wordt onderhandeld en dat deze worden toegekend. Deze contracten verschillen op gebied van locatie (oorsprong en bestemming), lotgrootte, frequentie, gewicht en comptabiliteit. De ideale lotgrootte wordt uiteindelijk berekend aan de hand van de totale logistieke kosten methode, die naast transportkosten ook rekening houdt met onder andere voorraad-, veiligheidsvoorraad- en bestelkosten.

Daarnaast is er de coördinatie van de zopas vastgelegde contracten, door middel van tourplanning. Dit houdt in dat de contracten uitgevoerd worden en leveringen plaatsvinden volgens een bepaalde planning. Naast het bepalen van een initieel routeplan is ook het invoegen van nieuwe leverpunten in een bestaand leverplan

een onderdeel van tourplanning. Onderstaand algoritme geeft een voorbeeld van de mogelijke stappen die nodig zijn om nieuwe leverpunten in een bestaand routeplan te plannen:

1. Creëer een routeplan waarin de volgorde van stops onbepaald is (het oude routeplan blijft bestaan)
2. Schrap de stops die al bediend zijn
3. Haal de nieuwe transportorders op uit de contracten
4. Sorteert deze nieuwe orders volgens afstand
5. Zoek het order uit stap 4 dat de grootste afstand heeft
6. Zoek de goedkoopste positie in het routeplan waar het paar van nieuwe ophaal- en afleveradres past
7. Voeg dit nieuwe paar toe aan de bestaande route, op de locatie die gevonden werd in stap 6. Indien dit mogelijk is dient het nieuwe paar vastgezet te worden en wordt de rest van de route opnieuw berekend (volgens stap 5). Indien het invoegen niet mogelijk is, wordt de goedkoopste positie genegeerd en gaat het algoritme verder volgens stap 6.
8. Leg alle punten (achterliggend aan het nieuwe leveradres) vast

2.5. ADA-model

Onder andere Ben-Akiva en De Jong (2008) beschrijven een ander logistiek model, namelijk het ADA (geaggregeerd-gedisaggregeerd-geaggregeerd) model (figuur 6). In Baak, Ben-Akiva en De Jong (2008) wordt het ADA-model toegepast op het Noorse goederentransport.

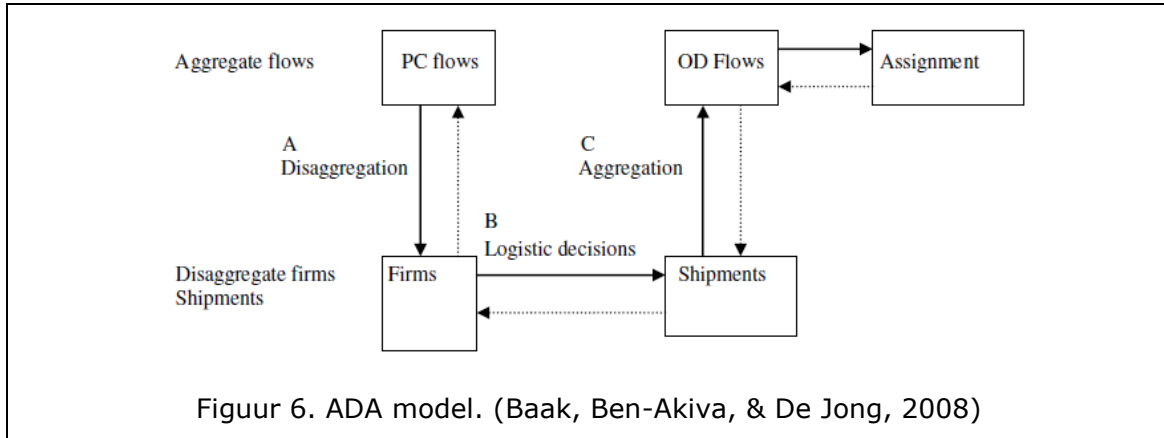
Het ADA-model is een goederenmodel dat op internationaal, nationaal en regionaal niveau gebruikt kan worden voor onder andere:

- ✓ voorspellen van de vraag naar transport op middellange en lange termijn
- ✓ testen van veranderingen in beleid, zoals de invoering van een wegentaks
- ✓ analyseren van de impact van veranderingen aan de infrastructuur (bijvoorbeeld nieuwe wegen of terminals)

Zowel de keuze met betrekking tot grootte van de levering (voor transporteurs) als de keuzes in verband met de transportketen (voor forwarders) worden in ADA beschouwd. Door de totale logistieke kosten te beschouwen, integreert dit model de twee typen beslissingen in één gecombineerd gedisaggregeerd multi-lineair logit model (Ben-Akiva & De Jong, 2007; Liedtke, 2009).

Het ADA-model is gebaseerd op volgende onderdelen:

1. Productie-consumptie (PC) stroom: het model start met het beschrijven van de stromen van goederen tussen de productie- en consumptiezone. Dit gebeurt aan de hand van geaggregeerde data zoals economische statistieken over productie en consumptie. Het resultaat hiervan is een stroom beschreven in ton, per productgroep.
2. Logistieke model: de PC stroom die opgesteld werd in de eerste stap wordt verwerkt in 3 stappen:
 - A. Disaggregatie: de PC stroom toewijzen aan individuele bedrijven (omzetten van zone-naar-zone-gegevens naar bedrijf-naar-bedrijf-gegevens). Deze individuele bedrijven zijn de beslissingsnemers.
 - B. Het nemen van de logistieke beslissingen met betrekking tot lotgrootte, transportmodus, verpakkingseenheden etc. Een minimalisatie van totale logistieke kosten ligt aan de basis van deze beslissing.
 - C. Aggregatie: de informatie uit stap B wordt samengevoegd per producttype tot een origin-destination (OD) stroom.
3. Netwerkmodel: aan de hand van de gegenereerde OD stromen (zone-naar-zone-gegevens) gebeurt een toewijzing aan het netwerk. Deze toewijzing kan eventueel ook op het niveau van individuele voertuigen gebeuren, waarna van een ADD-model gesproken wordt.



2.5.1. Opmerking met betrekking tot PC stromen (stap 1)

De PC stromen bevatten gegevens die betrekking hebben op economische relaties, zoals de transacties tussen en binnen bepaalde sectoren. Veranderingen in de vraag of de structuur van de economie hebben dan ook een directe impact op de PC stromen (Ben-Akiva & De Jong, 2008).

Het is belangrijk op te merken dat het onmiddellijk toewijzen van deze PC stromen aan het netwerk tot foutieve resultaten zou leiden aangezien het effect van logistieke factoren vergeten wordt. Zo hebben veranderingen in logistieke processen (bv. een andere ligging van een distributiecentrum of gewijzigde logistieke kosten) een directe invloed op de wijze waarop PC stromen worden toegewezen aan het netwerk. Het voorbeeld dat door Ben-Akiva en De Jong (2008) gegeven wordt, heeft betrekking op een transportketen die uitsluitend gebruik maakt van het wegennet. Hierbij brengt een kleine vrachtwagen eerst een lading naar een consolidatiecentrum. Deze wordt met andere ladingen geconsolideerd en vertrekt van hieruit met een grote vrachtwagen naar een distributiecentrum. Vanaf hier wordt opnieuw een kleine vrachtwagen gebruikt om de lading tot bij de bestemming te brengen. Het toewijzen van deze stromen aan het netwerk zou sterk verschillen indien er enkel werd uitgegaan van de PC stroom aangezien er geen rekening gehouden werd met de consolidatie.

2.5.2. Opmerking met betrekking tot logistieke beslissingen (stap 2 B)

De logistieke beslissingen die genomen worden in stap 2 B zijn gebaseerd op de gedissegregeerde gegevens (bedrijf-naar-bedrijf-gegevens). Deze relatie wordt omschreven als een jaarlijkse stroom van goederen, opgesplitst per producttype en uitgedrukt in ton. Hoewel er voor een kleine sector al snel miljoenen relaties tot stand komen, wordt in stap 2 B per individuele relatie de logistieke beslissing uitgevoerd. Deze beslissingen hebben betrekking op (Ben-Akiva & De Jong, 2008):

- ✓ Frequentie van de leveringen en lotgrootte
- ✓ Verpakkingseenheid (bv. in containers of losse eenheden)
- ✓ Het gebruik van distributiecentra, terminals, havens en luchthavens. De locatie van deze knooppunten worden als gegeven beschouwd.
- ✓ Transportmodus per transportketen. De mogelijkheden worden opgesomd onder titel 3.1.

Aan de basis van deze logistieke beslissingen ligt de minimalisatie van de totale logistieke kosten. In het praktijkgedeelte wordt deze werkwijze toegepast op een fictieve case.

2.6. Andere modellen

Daughety (1985) beschrijft een model waarin de transportbeslissing wordt onderzocht door de transportmodus (spoor of weg) te laten afhangen van de grootte van de levering, frequentie van de levering en productiebeslissingen. Dit wordt toegepast op het vervoeren van agriculturele goederen. Hieruit volgt het besluit dat de transportmodus afhangt van de eigenschappen van de modus (vervoerskosten en -tijd) en de eigenschappen van de levering (waarde en grootte). De grootte van de levering is op zijn beurt dan weer afhankelijk van kosten en tijden per transportmodus.

Er zijn slechts enkele andere bestaande modellen buiten ADA en het model van Liedtke die rekening houden met logistieke keuzes. Deze maken steeds gebruik van consolidatie, zodat er zowel een directe als indirecte route mogelijk is. Een directe

route gaat zonder tussenstop van oorsprong naar bestemming, terwijl een indirecte route meer transportmodi en tussenstops kan hebben om van oorsprong naar bestemming te gaan.

- ✓ Het SMILE en SMILE+ model (Strategic Model for Integrated Logistics Evaluation) is een model dat goederentransport en logistiek in Nederland beschrijft. Dit model gebruikt twee soorten goederenstromen, nl. import/export/binnenlandse stromen (die verbonden zijn aan de Nederlandse economie) en transitstromen (die eventueel ook Nederland kunnen vermijden). SMILE wordt gemodelleerd in drie fases (ME&P & WSP, 2002):
 - Productiefase: in een productiefunctie wordt de relatie gegeven tussen de productie, de activiteit per bedrijfssector en de vraag naar producten. Het vaststellen van de link tussen productie en consumptie leidt tot een productketen, om zo goederenstromen op te stellen.
 - Voorraadfase: distributieketens worden opgesteld aan de hand van een totale logistieke kostenmodel, dat rekening houdt met handling-, voorraad- en distributiekosten.
 - Toewijzingsfase: per producttype wordt de optimale route vastgesteld.

- ✓ Het Spatial Logistics Appended Module (SLAM) model houdt bij de conversie van goederenstromen naar transportstromen rekening met de logistieke kosten en mogelijkheden tot consolidatie. De focus van dit model ligt niet op transportkeuze maar wel op het berekenen van transportketens. Zo zoekt het SLAM-model het aantal mogelijke locaties van distributiecentra in Europa door het aantal ton per transportketen te berekenen. Een plaats waar veel goederen langskomen, is een mogelijke kandidaat als locatie voor een distributiecentrum.

- ✓ EUNET 2.0 is een geïntegreerd regionaal logistiek model, ontworpen voor de het Trans-Penninisch gebied (Noord-Engeland) (Jin, Shahkarami, & Williams, 2005). In dit model wordt de stroom van producten opgesplitst in een aantal logistieke fasen. Dit brengt met zich mee dat er een groot aantal oorsprong-bestemming matrices worden geschat per producttype en per logistieke fase. Door iedere logistieke fase apart te behandelen, kan het model beter de logistieke keuzes weergeven. Zo wordt het voorbeeld gegeven van voedsel:

- Het product wordt van de productieplaats naar een consolidatieplaats gebracht
- Vanaf hier wordt het verdeeld naar regionale distributiecentra
- Deze centra zorgen voor het transport tot aan de supermarkten en winkels
- De laatste stap is het transport tussen de winkel en de consument

In plaats van één enkel geïntegreerd model te beschouwen, kunnen er hier per fase de logistieke beslissingen geanalyseerd worden.

3. Logistieke module in goederenmodellen

Zoals in de literatuurstudie vastgesteld werd, missen de bestaande transportsystemen vaak een duidelijke integratie van de logistieke keuzes. Zo is bijvoorbeeld de beslissing over de lotgrootte of het gebruik van consolidatie niet opgenomen in de modellen.

Ben-Akiva en De Jong (2007) beschrijven het ADA-model waarin rekening wordt gehouden met volgende logistieke keuzes:

1. Frequentie en grootte van de levering
2. Aantal vertakkingen in transportketen (direct transport of meerdere tussenstops)
3. Gebruik van consolidatie
4. Transportmodus (weg, spoor, zee of lucht) per transportketen, opgesplitst per voertuigtype en ladingseenheid

Dezelfde auteurs publiceerden in 2008 een update van het ADA-model waarin de logistieke keuzes werden aangevuld door de beslissing met betrekking tot de verpakkingseenheid (Ben-Akiva & De Jong, 2008).

De integratie van deze keuzes gebeurt aan de hand van een totale logistieke kostenfunctie, waarbij naast de directe kosten ook rekening wordt gehouden met de indirecte logistieke kosten.

In dit gedeelte wordt gestart met het bespreken van de diverse transportmodi. Hierna worden de factoren besproken die een invloed blijken te hebben op de transportkeuze.

3.1. Transportmodus

De keuze met betrekking tot de transportmodus is van groot belang aangezien deze invloed heeft op andere keuzes zoals bv. maximale lotgrootte, snelheid of routing (Ben-Akiva & de Jong, 2009). De meest voorkomende transportmodi zijn via

wegverkeer, spoor, binnenvaart, zeevaart, lucht en pijpleiding. Een combinatie van transportmodi is ook steeds mogelijk (intermodaal transport).

In vele gevallen is de keuze afhankelijk van de bronnen en middelen die reeds beschikbaar zijn (Roorda, Cavalcante, McCabe, & Kwan, 2010). Zo zal een bedrijf dat jarenlang via de weg heeft getransporteerd, minder snel de overstap naar spoorverkeer maken vanwege de hoge vereiste investering.

3.1.1. Wegverkeer

Hoewel de term wegverkeer één transportmodus omvat, kunnen er ook nog onderverdelingen gemaakt worden. Zo is er een verschil tussen het vervoer via bestelwagen of trekker met oplegger combinatie.

Het wegverkeer wordt gekenmerkt door een groot aantal kleine bedrijven, mede dankzij de lage initiële investering die vereist is. Ook is er sprake van een grote toegankelijkheid dankzij het erg dichte wegennet.

Deze vervoerswijze staat voor snel en betrouwbaar transport, dat vooral geschikt is voor korte afstanden. Dit komt mede door de 'deur-tot-deur' service waardoor geen laden of lossen vereist is tussen vertrek en aankomst; de lading kan op de vrachtwagen blijven staan zonder overslag (Berghmans, 2006).

Het transport via de weg kent evenwel een aantal nadelen. Door de fileproblematiek in België en vele andere Europese landen gaat steeds meer tijd verloren, waardoor ook de betrouwbaarheid en snelheid in het gedrang komen.

3.1.2. Spoor

Spoorverkeer wordt gekarakteriseerd door een lagere dichtheid en aansluiting op terminals. Daar sporen zelden rechtstreeks tot aan de juiste bestemming lopen, dient er aan een halte overslag te gebeuren. Dit houdt in dat de goederen overgeladen worden naar bv. een vrachtwagen, die dankzij het dichtere wegennet wel tot aan de eindbestemming kan rijden

In tegenstelling tot wegverkeer zijn er bij het spoor erg grote initiële investeringen nodig (sporen, signalisatie, ...). Dit maakt dat het spoorverkeer vaak in handen is van een klein aantal grote bedrijven.

Vaak wordt gesteld dat het transporteren van laagwaardige producten (hout, papier, ...) en grondstoffen (kolen, zand, ...) best via het spoor gebeurt, gezien de grote hoeveelheden en afstanden die kunnen worden bereikt. Hierdoor is de prijs van vervoer per spoor (per eenheid) relatief laag (Berghmans, 2006).

Op het gebied van snelheid zijn spoor- en wegvervoer aan elkaar gewaagd, voornamelijk vanaf de middellange afstanden.

3.1.3. Binnen- en zeevaart

Net zoals bij het spoor, kent de binnen- en zeevaart een moeilijkere toegankelijkheid. Er zal dus ook hier overslag moeten gebeuren, aangezien de kade zelden de eindbestemming van het product is.

Om grote volumes te vervoeren over grote afstanden, wordt de binnenvaart even hoog ingeschat als het wegvervoer, mede dankzij de liberalisering die plaatsvond in België op het einde van de jaren negentig (Vannieuwenhuyse, 2003, in Berghmans, 2006).

Hoewel de initiële investeringen in schepen bijzonder hoog zijn, kunnen deze afgeschreven worden op verschillende decennia. Door deze lange levensduur wordt deze investering dan gespreid. Het grote laadvermogen heeft ook tot gevolg dat de andere kosten (per eenheid) zeer laag zijn.

De grootste beperking aan het vervoer via binnenvaart is het binnenlands waterwegennetwerk. Hierdoor dienen verzenders en ontvangers zich ofwel aan een waterweg te positioneren (en bereid zijn tot de eventuele bouw van een kade), ofwel dient men gebruik te maken van voor- en natransport, hetgene overslagkosten met zich meebrengt.

3.1.4. Lucht

Een erg snelle manier van vervoeren is transport via de lucht. Dit wordt gekenmerkt door een beperkt aantal maatschappijen, weeral door de grote initiële investering.

Het luchtvervoer komt enkel in aanmerking in bepaalde vervoerniches, waarbij goederen met een hoge waarde ergens snel dienen geleverd te worden (Berghmans, 2006).

Een groot voordeel van luchttransport is gebaseerd op de lagere kosten met betrekking tot verlies en schade. Er is immers minder beschermende verpakking vereist voor het luchtvervoer, gezien de behandeling op de grond geen hogere blootstelling aan schade veroorzaakt en omdat diefstal in luchthavens niet overmatig voorkomt (Ballou, 1999).

3.1.5. Pijpleiding

Een pijpleiding wordt vooral gebruikt voor het vervoer van een zeer beperkte waaier van producten. De meest economisch haalbare producten om te vervoeren per pijpleiding zijn aardolie en gezuiverde petroleumproducten (Berghmans, 2006).

Hoewel er een erg hoge vast kost is (het aanleggen van de leiding), is de variabele kost erg laag.

Het verplaatsen van goederen in een pijpleiding gebeurt aan ongeveer 5 tot 6 km/u, hetgene traag is. Hierbij dient wel opgemerkt te worden dat de producten 24 uur op 24 en 7 dagen op 7 kunnen worden verplaatst.

3.1.6. Vergelijking van transportmodi

Tabel 1 geeft een SWOT-analyse van de verschillende transportmodi.

Tabel 1. SWOT-analyse van verschillende transportmodi. (Vannieuwenhuysse, 2003, in Berghmans, 2006)

	Weg	Spoor	Binnenvaart	Luchtvaart	Pijpleiding
Sterktes	Flexibiliteit Bereikbaarheid	Bestaande netwerk	Lage operationele kost	Snelheid	Milieuvriendelijk- heid
Zwaktes	Congestie	Gebrek aan flexibiliteit	Traagheid	Duur	Beperkte toepassingen
Kansen	Nieuwe logistieke evoluties	Liberalisatie	Politieke prioriteit	Liberalisatie	Nieuwe goederenniches
Bedreigingen	Extra regelgeving	Bedrijfscultuur	Bepert netwerk	Congestie	Terrorisme

Ook is er een tabel beschikbaar die de kenmerken van de verschillende modi bespreekt in het kader van kosten, betrouwbaarheid, flexibiliteit en frequentie (Tabel 2).

Tabel 2. Vergelijking kenmerken transportmodi. (Vannieuwenhuysse, 2006, in Ribus, 2007)

	Weg	Spoor	Binnenvaart	Luchtvaart	Pijpleiding
Kosten	Slecht	Goed	Zeer goed	Zeer slecht	Goed
Betrouwbaarheid	Matig	Matig	Goed	Matig	Zeer goed
Flexibiliteit	Zeer goed	Slecht	Matig	Matig	Zeer slecht
Frequentie	Zeer goed	Goed	Goed	Matig	Zeer goed

3.2. Logistieke factoren die de transportkeuze beïnvloeden

3.2.1. Bespreking van factoren

Feo-Valero, García-Menéndez, Sáez-Carramolino en Furió-Pruñonosa (2011) stellen in hun literatuurstudie een tabel op waarin acht verschillende artikels met betrekking tot goederenmodellen worden samengevat. Een van de vergelijkingsfactoren waarvan men gebruik maakt, zijn de attributen die volgens de verschillende artikels een invloed hebben op de transportkeuze. Deze attributen worden in tabel 3 voorgesteld.

Tabel 3. Attributen die een invloed hebben op de transportkeuze. (aangepast uit Feo-Valero et al., 2011)

Attribuut	Auteurs	Aantal vermeldingen
Transportkost	Beuthe & Bouffioux (2008)	7
	Blauwens et al. (2002)	
	Blauwens et al. (2006)	
	de Jong et al. (2000)	
	Jiang & Calzada (1997)	
	Kurri et al. (2000)	
	Velky & de Jong (2003)	
Transit tijd	Beuthe & Bouffioux (2008)	6
	Chiara et al. (2008)	
	de Jong et al. (2000)	
	Jiang & Calzada (1997)	
	Kurri et al. (2000)	
	Velky & de Jong (2003)	
Frequentie	Beuthe & Bouffioux (2008)	4
	Blauwens et al. (2002)	
	Chiara et al. (2008)	
	Velky & de Jong (2003)	
Betrouwbaarheid	Beuthe & Bouffioux (2008)	4
	de Jong et al. (2000)	
	Kurri et al. (2000)	
	Velky & de Jong (2003)	
Leveringstijd	Beuthe & Bouffioux (2008)	2
	Velky & de Jong (2003)	
Flexibiliteit	Beuthe & Bouffioux (2008)	2
	Velky & de Jong (2003)	
Kans op verlies en schade	Beuthe & Bouffioux (2008)	2
	de Jong et al. (2000)	
Vergezeld transport²	Chiara et al. (2008)	1
Beschikbaarheid van andere logistieke diensten	Velky & de Jong (2003)	1
Gemiddelde lead time	Blauwens et al. (2006)	1
Cyclische voorraadkosten	Blauwens et al. (2002)	1

² Bij intermodaal transport is het mogelijk dat een vrachtwagen op een trein wordt geplaatst. Wanneer de chauffeur meereist en dus na aankomst verder rijdt met de vrachtwagen, spreken we van vergezeld transport. Wanneer de vrachtwagen zonder chauffeur op een trein reist, spreken we van niet-vergezeld transport.

Kost van voorraad in transit	Blauwens et al. (2002)	1
Kost van veiligheidsvoorraad	Blauwens et al. (2002)	1
Laadcapaciteit	Blauwens et al. (2006)	1
Variantie van lead time	Blauwens et al. (2006)	1

Hieruit kunnen we besluiten dat de kosten en tijd met betrekking tot het transport van zeer groot belang zijn. Ook de frequentie en betrouwbaarheid van het transport worden vaak genoemd als beïnvloedende factor.

De gebruikte modellen voor goederentransport vermelden bijna geen logistieke factoren die de transportkeuze beïnvloeden. Toch zijn er twee factoren die mogelijk nog een invloed kunnen uitoefenen, namelijk voorraad en het gebruik van consolidatie.

3.2.2. Voorraad

Het houden van grote voorraden is een veilige aanpak die voorkomt dat de vraag niet bediend kan worden of dat de productie dient stilgelegd te worden. Kleine voorraden daarentegen leiden tot lagere voorraadkosten maar wel hogere bestel- en transportkosten.

Logistieke beslissingen worden steeds genomen met de voorraad van de ontvanger in gedachten; de voorraad van de verzender zal hierin zelden tot nooit een rol spelen. Met andere woorden, de vraag van een product of de eigenschappen van het productieproces van de ontvanger staan centraal bij het bepalen van het voorraadbeleid (Ben-Akiva & De Jong, 2007).

Uit de productie-attractie (vierstapsmodel) of productie-consumptie (ADA) matrix kennen we de totale vraag naar een product uitgedrukt in aantal ton. Wanneer we deze hoeveelheid Q noemen, weten we dat

$$Q = f * q.$$

met

f : bestelfrequentie, per jaar

q : bestelhoeveelheid

Het voorraadbeleid hangt dus ofwel af van de bestelfrequentie (waarna de bestelhoeveelheid de afhankelijke variabele is), of van de bestelhoeveelheid (waarna de bestelfrequentie de afhankelijke variabele is). De invloed van de frequentie van het transport zorgt er dus voor dat indirect de factor voorraad wel meespeelt bij het kiezen van een transportmodus. Een voorbeeld hiervan is het implementeren van een just-in-time-beleid, wat voor een erg lage bestelhoeveelheid zal zorgen. Hierdoor zal er frequenter geleverd moeten worden.

Volgens Baumol en Vinod (1970) is de snelheid van het transport niet van groot belang, op voorwaarde dat het transport op regelmatige tijdstippen plaatsvindt. Het voorbeeld wordt gegeven van een bepaalde hoeveelheid die wekelijks wordt verstuurd, waardoor ook wekelijks diezelfde hoeveelheid zal aankomen, ongeacht de transporttijd. Snelheid biedt dus bij vraag en aanbodstabiliteit geen voordeel. Wanneer de vraag onzeker is, speelt de transporttijd wel een rol. De frequentie waarmee een bestelling geplaatst wordt, is dus van groot belang.

De optimale bestelhoeveelheid kan berekend worden aan de hand van de EOQ-methode (Economic Order Quantity) (Horngren, Datar, & Foster, 2006):

$$EOQ = \sqrt{\frac{2 \cdot D \cdot P}{c}}$$

met

D : jaarlijkse vraag naar het product

P : vaste kost, per bestelling (bestelkost)

C : voorraadkost voor de ontvanger per item per jaar

Ter vereenvoudiging worden enkel de voorraadkosten voor de ontvanger beschouwd. Indien er sprake zou zijn van een geïntegreerde supply chain waarin leverancier en klant samenwerken om de totale logistieke kosten te minimaliseren, wordt de ETQ (Economic Transport Quantity) beschreven door (Beullens, 2009):

$$ETQ = \sqrt{\frac{D \cdot P}{c}}$$

met

D : jaarlijkse vraag naar het product

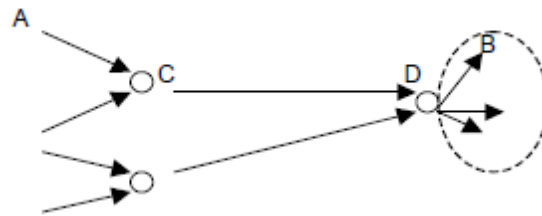
P : vaste kost, per bestelling (bestelkost)

C : voorraadkost per item per jaar (identiek voor zender en ontvanger)

3.2.3. Consolidatie

In het algemeen dalen de transportkosten per eenheid, indien er een grotere lotgrootte wordt gehanteerd. Dit is een reden waarom bedrijven er alles aan doen om bijvoorbeeld geen halfvolle vrachtwagens op pad te sturen. Consolidatie kan helpen producten te bundelen, om zo vollere vrachtwagens, wagons of boten te bekommen. Dit leidt tot een lagere transportkost (Ben-Akiva & De Jong, 2007).

Consolidatie is het creëren van schaalvoordelen door middel van het samenvoegen van verschillende goederen, om zo een transporteenheid volledig te vullen. Dit kan gebeuren doormiddel van consolidatie- en distributiecentra (zie figuur 7).



Figuur 7. Consolidatie en distributie: het vervoer van goederen tussen locatie A en B wordt geconsolideerd te C en gedeconsolideerd te D. (Ben-Akiva & De Jong, 2007)

4. Praktijkgedeelte

4.1. Situering

Het praktijkgedeelte van deze masterproef zal zich concentreren op de factoren die een rol spelen bij de transportkeuze in het vierstapsmodel. Om een grondige analyse te maken van deze keuze wordt verondersteld dat de vorige stappen (productie/attractie en distributie) reeds berekend zijn. Ook zal de laatste stap (toewijzing/routing) niet behandeld worden in deze masterproef.

Om na te gaan op welke manier er een transportkeuze wordt gemaakt, wordt een reële situatie als voorbeeld gebruikt, waarbij een bepaald bedrijf goederen wenst te transporteren naar een ander bedrijf. Dit laat toe op een duidelijke wijze de verschillende stappen in het beslissingsproces te ontleden.

Het bovenstaande uitgangspunt is gebaseerd op het geaggregeerde-geaggregeerde-geaggregeerde (ADA) model, hetgene in de literatuurstudie reeds werd besproken. De beschikbare data met betrekking tot de productie-consumptie stroom en het netwerkmodel zijn enkel beschikbaar op het geaggregeerde niveau, terwijl de logistieke beslissing op bedrijfsniveau wordt beschouwd.

Bij dit praktijkgedeelte dient wel opgemerkt te worden dat de focus niet ligt op de correctheid en accuraatheid van de gebruikte gegevens. Deze dienen louter ter illustratie om de methodologie die gebruikt wordt bij het optimaliseren van logistieke beslissingen, te illustreren. Het doel van deze masterproef is dan ook niet het vormen van een besluit met betrekking tot optimale transportmodus, eerder het illustreren van de mogelijke rekenmethodes. Na deze illustratie volgt een kritische reflectie met betrekking tot de gebruikte modellen, benodigde data en beperkingen.

4.2. Keuze van voorbeeldbedrijf: verzender

Als voorbeeldbedrijf dat goederen wenst te verzenden, wordt er voor een bedrijf gekozen dat de keuze heeft om op drie manieren goederen te verzenden, namelijk via het water, het spoor en de weg.

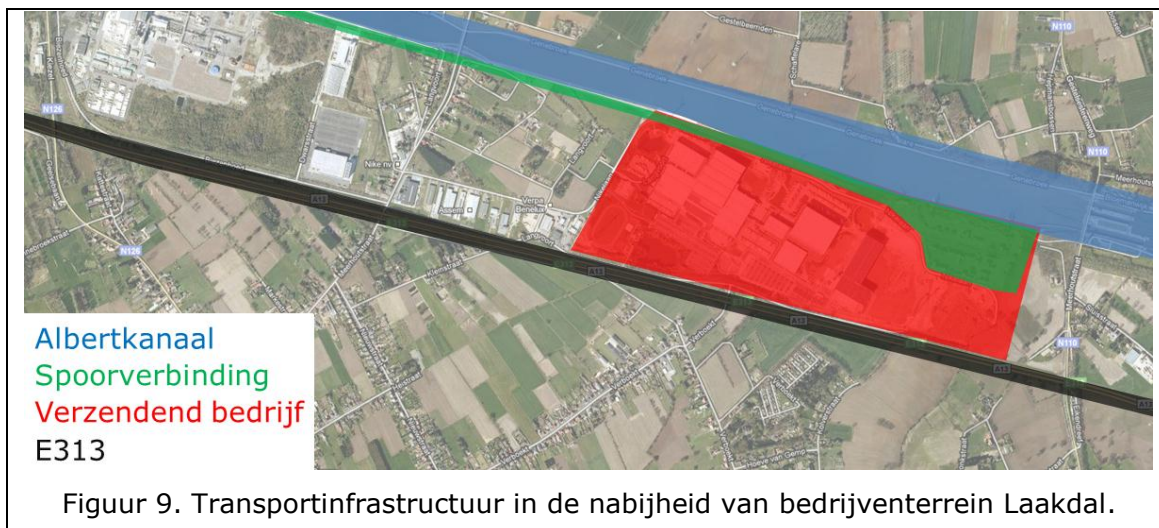
4.2.1. Ligging

Na het doornemen van diverse media blijkt dat er op een bedrijventerrein in Laakdal (in de provincie Antwerpen en aangrenzend aan Limburg en Vlaams-Brabant, figuur 8) sinds 2006 de mogelijkheid bestaat om goederen op drie manieren te verzenden. Vanaf dat moment is er immers een aansluiting voorzien tussen het bedrijventerrein en spoorverbinding L207 (Verberght, 2006).



Figuur 8. Ligging van Laakdal.

Deze locatie is op logistiek gebied erg interessant aangezien er directe toegang is tot zowel de E313, het Albertkanaal als een spoorverbinding (figuur 9). Hierdoor is het mogelijk voor het fictieve bedrijf om direct voor drie verschillende transportmodi te kiezen.



Het verzendend bedrijf ligt vlakbij de E313. Dit is de autosnelweg tussen Antwerpen en Luik. De E313 is samen met enkele andere snelwegen (E314, E19, E40) belangrijk voor de afhandeling van deur-tot-deur logistiek in België.

Dagelijks rijden er op dit stuk (tussen afrit 24-Geel-Oost en afrit 25-Ham) ongeveer 50.000 voertuigen. De volledige verkeerstellingen in het jaar 2006, uitgevoerd door de Vlaamse Overheid zijn afgebeeld in bijlage 2. Het is net door deze drukte op onder andere de E313 dat ook andere transportvormen als alternatief opgenomen worden bij de transportkeuze.

Daarnaast is er ook de nabijheid van het Albertkanaal, een belangrijke verbinding tussen de Schelde en de Maas. Dichtbij het sluizencomplex van Laakdal heeft het onafhankelijke bedrijf Watercontainertransport cvba in 1996 een terminal van 10 ha³ geopend om de producten van onder andere Nike, IKEA en Borealis te verzenden (Verberght, 2006). Dit is een zgn. inland terminal (kleine haven in het binnenland) die deel uitmaakt van een hub-en-spoke-netwerk. Dit houdt in dat er verschillende verbindingen zijn tussen de knooppunten, waar onder andere opslag, distributie en overslag plaatsvinden.

³ 10 ha heeft een opslagcapaciteit van ongeveer 8.000 TEU of Twenty feet Equivalent Unit.

Watercontainertransport huurt enkele lichters en duwschepen (maximale capaciteit 144 TEU) die op een vast schema varen tussen de terminal te Meerhout en de havens van Antwerpen, Rotterdam en Amsterdam.

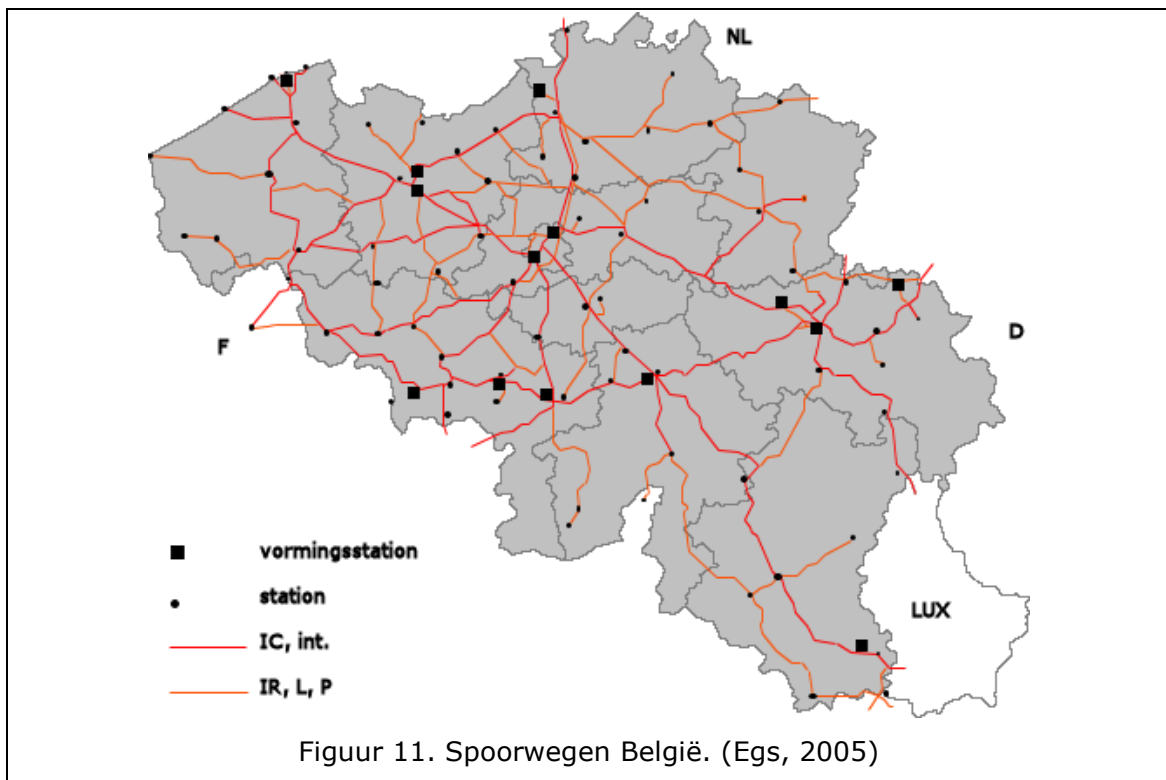
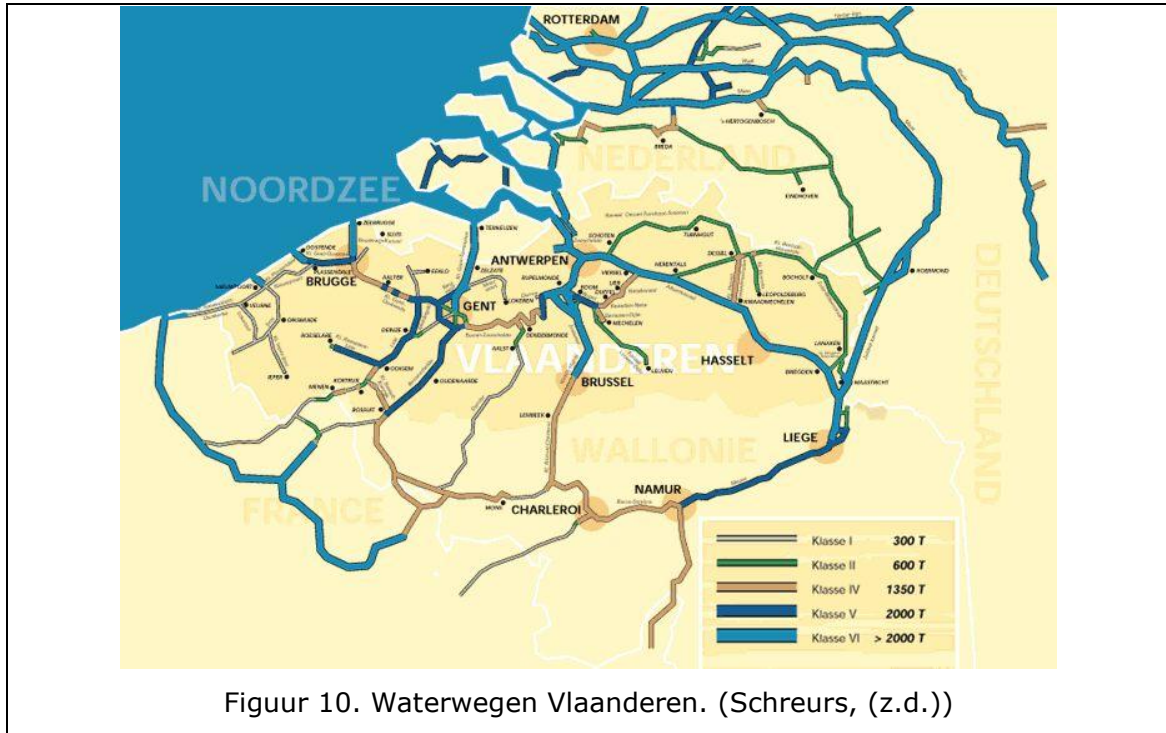
Doordat het schip vlakbij het distributiecentrum geladen wordt, heeft men geen last van files en ondervindt men bijgevolg geen congestiekosten. De relatieve kleinschaligheid van deze terminal laat toe dat het schip op een snelle en efficiënte manier geladen kan worden.

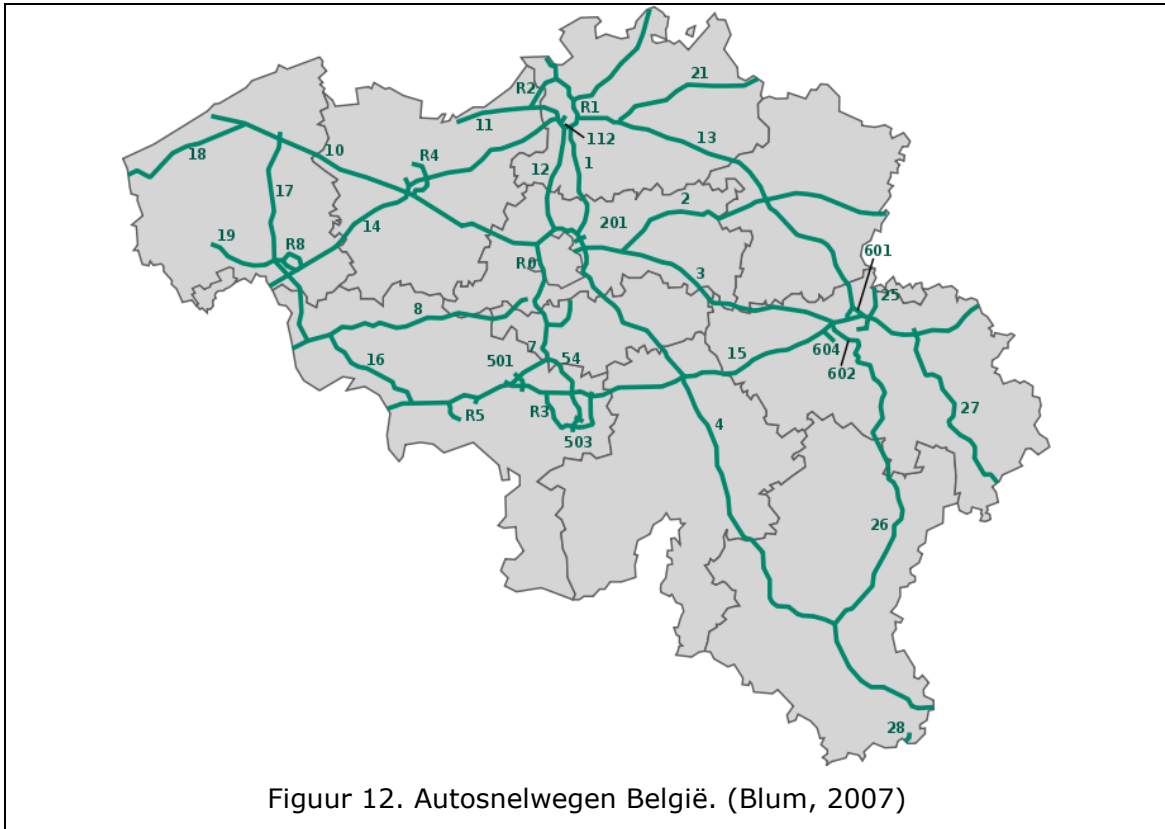
Ten slotte bevindt zich sinds september 2006 vlakbij het bedrijventerrein een aansluiting op spoorlijn L207 richting Herentals. Deze stopte oorspronkelijk 3 kilometer eerder, maar door investeringen van de NMBS werd deze verlengd tot het industriegebied van Meerhout.

4.3. Keuze van voorbeeldbedrijf: ontvanger

Om geen enkele mogelijkheid betreffende transportkeuze uit te sluiten, is het best om een gunstige ligging van het ontvangend voorbeeldbedrijf te kiezen. Hiermee wordt bedoeld dat het situeren van een ontvanger in bijvoorbeeld de regio Noord-Oost Limburg een vertekend beeld zal geven van de transportkeuze, aangezien er geen grote autosnelwegen in dit gebied zijn. Het is daarom dat er gekozen wordt voor een bedrijf dat in de buurt van een water-, spoor- en autosnelweg ligt. Het is tevens dit ontvangende bedrijf dat de beslissingsnemer is op het gebied van transportkeuze.

Figuren 10, 11 en 12 geven een overzicht van respectievelijk de relevante water-, spoor- en autosnelwegen.





Indien we alle mogelijkheden met betrekking tot vervoer via het water willen nagaan, kunnen we volgens figuur 10 best een bedrijf kiezen dat zich situeert op de as Antwerpen-Luik. Het combineren van de drie figuren leidt tot de conclusie dat het ontvangende bedrijf zich best situeert in de buurt van Hasselt of Genk.

Om deze redenen zullen we veronderstellen dat er goederen worden verzonden naar een fictief distributiecentrum van sportartikelen, gelegen op de industriezone Genk-Noord (figuur 13). Het transport tussen de intermodale terminal van de Haven van Genk en het distributiecentrum zal per grote vrachtwagen gebeuren.

Dit fictief bedrijf ontvangt op geregelde tijdstippen zendingen van onder andere het verzendend bedrijf, om deze verder te distribueren naar de winkelketens in Vlaamse grootsteden.



4.4. Keuze van goederen en transporteenheid

Zoals eerder gesteld zullen er in dit praktijkvoorbeeld sportartikelen verzonden worden van het bedrijf te Laakdal naar een distributiecentrum in Genk. Ter vereenvoudiging wordt bovendien verondersteld dat er enkel sportschoenen verzonden worden. Deze keuze en waarde hiervan is louter indicatief, daar latere toepassingen van het goederenmodel rekening zullen houden met het versturen van goederen die ook andere waardes kunnen hebben. Aangezien de NSTR-codering⁴ in geen enkel opzicht een categorie bevat waarin het vervoeren van schoenen is vervat, is het niet mogelijk om hiermee een gemiddelde waarde per ton te bekomen. SITC⁵ daarentegen omvat wel een categorie 'footwear' (categorie 851). Hierin bestaat de subcategorie 'tennis shoes, basketball shoes, gym shoes, training shoes and the like with outer soles of rubber or plastics' (categorie 85125),

⁴ De NSTR-codering (Nomenclature uniforme des marchandises pour les Statistiques de Transport, Révisée) is een classificatie van goederen, vooral gebruikt door de Europese lidstaten.

⁵ De SITC-codering (Standard International Trade Classification) wordt gebruikt door de Verenigde Naties om export- en importgegevens van de verschillende landen te vergelijken.

maar ook hier is er geen beschikbare data met betrekking tot waarde per ton. Dit heeft tot gevolg dat de waarde per schoendoos geschat moet worden.

De sportschoenen zullen vervoerd worden in een 40-voetcontainer (2 Twenty feet Equivalent Unit). Het vervoeren van goederen gebeurt gebruikelijk in deze containers, aangezien deze via de weg, het water als per spoor kunnen worden vervoerd, zonder tussentijds te worden in- of uitgeladen. De standaardisatie van de containers verzekert de uitwisselbaarheid (tussen landen, bedrijven en transportmodi) ervan.

Een 40-voetcontainer heeft een volume van 67,5 m³. Veronderstellend dat een container voor ongeveer 70% gevuld wordt, zal er per levering ruimte zijn voor 47,25 m³ aan goederen. We veronderstellen ook dat er ongeveer 50 schoendozen in 1 m³ kunnen, wat leidt tot 2.362 schoendozen per container. Aan een gemiddelde waarde van 40 euro per schoendoos brengt dit de waarde per container op 94.480 euro. Voorts blijkt dat een schoendoos (incl. verpakkingsmateriaal) 800 gram weegt. De gegevens met betrekking tot de lading wordt samengevat tabel 4.

Tabel 4. Gegevens met betrekking tot fictieve lading.

Goed	Sportschoenen
Verpakking (1 item)	Schoendoos
Gewicht (1 item)	800 g
Waarde (1 item)	40 euro
Ladingseenheid	Container (2 TEU)
Inhoud ladingseenheid	67,5 m ³
Gemiddeld vulniveau	47,25 m ³
Aantal items per container	2 362
Aantal items per m³	50

Er wordt verondersteld dat er 10.000 paar schoenen per maand verstuurd dienen te worden naar het distributiecentrum te Genk, hetgene neerkomt op een jaarlijks totaal van 120.000 paar schoenen.

4.5. Definitie van de transportmogelijkheden

Bij het definiëren van de transportmogelijkheden wordt het vervoer via lucht en pijpleiding buiten beschouwing gelaten, aangezien de afstand tussen de twee locaties te klein is voor luchtvervoer en sportschoenen zich niet lenen tot het vervoer via pijpleiding. Wel wordt er een opsplitsing gemaakt op het gebied van wegtransport. Aangezien een kleine vrachtwagen (bestelwagen) een andere laadcapaciteit heeft, maar wel sneller is dan een traditionele trekker-oplegger, wordt er een duidelijk onderscheid gemaakt tussen deze twee modi.

Deze vier transportmodi zullen eveneens de basis vormen van de vier transportketens waar in een latere stap de totale logistieke kost van wordt berekend.

4.5.1. Kleine vrachtwagen

Tabel 5. Gegevens Opel Movano uit brochure Opel.

Transportmiddel	Kleine vrachtwagen (Opel Movano)
Max. snelheid	120 km/u
Gemiddeld verbruik	8,0 l / 100 km (diesel)
Laadcapaciteit	17 m ³
Gewichtscapaciteit	2.5 ton
Maximaal aantal eenheden	850 (gewichtscapaciteit is hier niet relevant)
Foto	

4.5.2. Grote vrachtwagen (trekker-oplegger)

Tabel 6. Gegevens Iveco Stralis.

Transportmiddel	Grote vrachtwagen (Iveco Stralis)
Max. snelheid	90 km/u
Gemiddeld verbruik	30,0 l / 100 km (diesel)
Laadcapaciteit	95 m ³
Gewichtscapaciteit	24 ton
Maximaal aantal eenheden	4.750 (gewichtscapaciteit is hier niet relevant)
Foto	

4.5.3. Binnenvaart

In Vernimmen en Witlox (2003) besluit men dat een Kempenaar een schip is met een van de laagste totale logistieke kost. Dit type wordt dan ook gebruikt voor binnenvaart.

Tabel 7. Gegevens Kempenaar uit brochure binnenvaart.be

Transportmiddel	Schip (Kempenaar)
Max. snelheid	7 km/u (Cantarelli, Chappin, & Klompenhouwer, 2004)
Gemiddeld verbruik	30 l / u (diesel)
Laadcapaciteit	700 m ³ - 18 TEU
Gewichtscapaciteit	600 ton
Maximaal aantal eenheden	21.258 (gewichtscapaciteit is hier niet relevant)
Foto	 A photograph of a large, dark-colored flatbed barge (Kempenaar) moving on a river. The barge has a white cabin at the front and is carrying a large, flat, light-colored load. The name 'GERWI' is visible on the side of the barge. The water is brown and turbulent, indicating the barge is moving quickly. The background shows a grassy bank and a wooden dike.

4.5.4. Trein

Tabel 8. Gegevens trein.

Transportmiddel	Trein
Max. snelheid	120 km/u
Gemiddeld verbruik	500 l / 100 km (diesel)
Laadcapaciteit	15 wagons – 45 TEU
Gewichtscapaciteit	onbekend
Maximaal aantal eenheden	53.145 (gewichtscapaciteit is hier niet relevant)
Foto	

4.5.5. Opmerking bij transportmogelijkheden

Wanneer er in de berekeningen geen gebruik wordt gemaakt van de volledige capaciteit (bijvoorbeeld slechts 4 TEU wordt per boot vervoerd) betekent dit niet dat de overige laadruimte onbenut blijft. Er wordt immers verondersteld dat de diverse transportmodi steeds de volledige capaciteit benutten, eventueel door een combinatie van verschillende zendingen afkomstig van andere bedrijven. Aangezien het moeilijker is om een niet volledig benutte kleine of grote vrachtwagen precies tot op capaciteit te vullen, geldt bovenstaande veronderstelling enkel voor treinen en schepen.

De gebruikte transportkost is gedefinieerd in euro per km. Dit bedrag veronderstelt een transportmiddel dat de volledige capaciteit benut. Om deze reden zal de uiteindelijke transportkost bij een trein of schip afhangen van hoeveel plaats door eigen goederen wordt ingenomen. De toepassing van deze veronderstelling wordt verder uitgewerkt in het voorbeeld van bijlage 5.

4.6. Routes

Zoals eerder gesteld kan de container op drie manieren vervoerd worden, namelijk via de weg, het spoor of het water. Enkel het transport via de weg is direct, bij de twee andere modi dient er overslag te gebeuren. Er wordt verondersteld dat het natransport tussen de kade/spoorterminal en het distributiecentrum te Genk gebeurt met een grote vrachtwagen.

4.6.1. Weg (kleine en grote vrachtwagen)

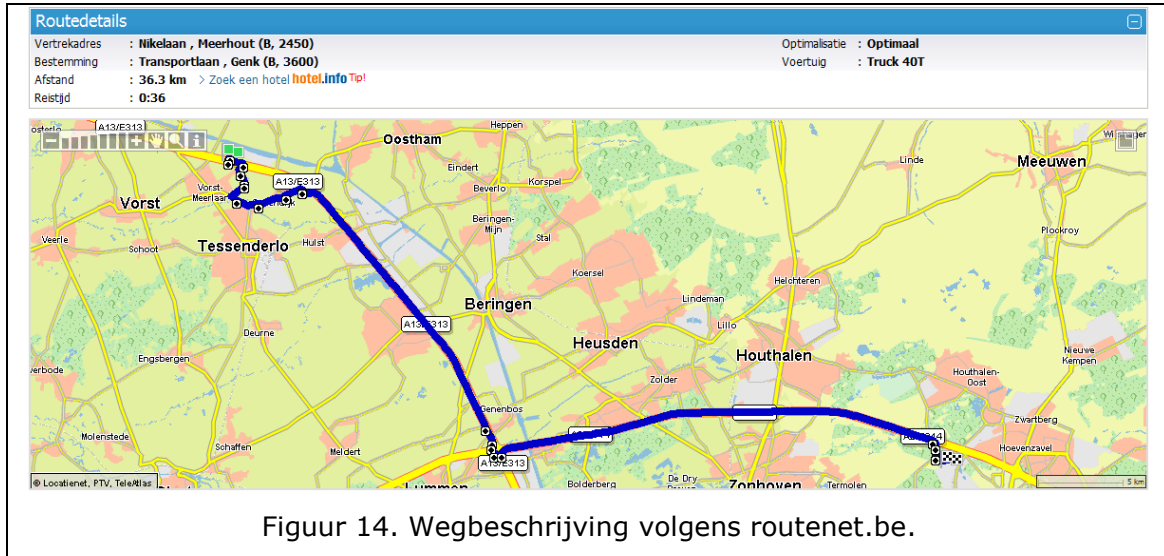
Via de online routeplanner routenet.be wordt de route tussen het verzendend bedrijf (Nikelaan, Meerhout) en het fictieve distributiecentrum te Genk (Transportlaan, Genk) berekend. Voor de categorie 'truck 40T' (grote vrachtwagen) is dit een afstand van 36,3 kilometer en volgens de routeplanner (figuur 14) een reistijd van 36 minuten. Dit betekent dat de truck gemiddeld 60 km/u rijdt. Een kleine vrachtwagen kan iets sneller rijden, daarom veronderstellen we hiervoor een gemiddelde snelheid van 75 km/u (80% van de af te leggen weg is autosnelweg).

Tabel 9. Routegegevens kleine vrachtwagen.

Transportmiddel	Kleine vrachtwagen
Gem. snelheid	75 km/u
Afstand	36,3 km
Tijd	29 min.

Tabel 10. Routegegevens grote vrachtwagen.

Transportmiddel	Grote vrachtwagen
Gem. snelheid	60 km/u
Afstand	36,3 km
Tijd	36 min.



4.6.2. Water

Door middel van het softwarepakket Google Earth wordt de afstand berekend die een schip dient af te leggen op het water. Na het uittekenen van dit pad blijkt dit 37,8 kilometer te zijn. Hoewel er zich vier sluizen vinden tussen de twee terminals, wordt er geen rekening gehouden met de wachttijden aan de sluizen.

Tabel 11. Routegegevens boot.

Transportmiddel	Boot
Gem. snelheid	7 km/u
Afstand	37,8 km
Tijd	5u 24 min.

4.6.3. Spoor

De berekening van dit traject wordt uitgevoerd in bijlage 3. Dit traject is aanzienlijk langer (100,4 kilometer), aangezien de trein eerst terug een stuk richting Antwerpen dient te rijden, alvorens via Herentals, Geel, Mol, Leopoldsburg, Beringen en Hasselt Genk te bereiken. De gemiddelde snelheid van de trein wordt 30 km/u verondersteld, rekening houdend met de uit te voeren manoeuvres.

Tabel 12. Routegegevens trein.

Transportmiddel	Trein
Gem. snelheid	30 km/u
Afstand	100,4 km
Tijd	3u 20 min.

4.6.4. Natransport (water)

Om de 11 kilometer (figuur 15) tussen de kade en het distributiecentrum te overbruggen, wordt een grote vrachtwagen gebruikt. Gezien de drukte van de wegen en het aantal verkeerslichten, is de veronderstelde reistijd van 37 km/u een goede inschatting.



Figuur 15. Wegbeschrijving volgens routenet.be.

Tabel 13. Routegegevens natransport boot.

Transportmiddel	Grote vrachtwagen
Gem. snelheid	37 km/u
Afstand	11 km
Tijd	18 min.

4.6.5. Natransport (spoor)

Ook bij het spoor dient de afstand tussen de spoorterminal en het distributiecentrum per grote vrachtwagen te worden afgelegd. De afstand tussen deze 2 punten bedraagt slechts 2 kilometer, wat er toe leidt dat de vrachtwagen 3 minuten dient te rijden tussen de spoorterminal en het distributiecentrum. Rekening houdend met de wegeninfrastructuur op het industrieterrein en de korte afstand, wordt hier een gemiddelde snelheid van 30 km/u verondersteld.

Tabel 14. Routegegevens natransport trein.

Transportmiddel	Grote vrachtwagen
Gem. snelheid	37 km/u
Afstand	2 km
Tijd	3 min.

4.7. Relevante kosten

Om de relevante kosten te berekenen, wordt er gewerkt met het TLC-model (totale logistieke kosten) dat onder andere door Baumol en Vinod (1970) en Vernimmen en Witlox (2003) wordt beschreven. Dit model houdt rekening met de transportkosten, bestelkosten, transporttijdskosten, cyclische voorraadkosten, kosten van veiligheidsvoorraad en overslagkosten.

4.7.1. Transportkosten

Hoewel Baumol en Vinod (1970) een model voorstellen met een constante transportkost per eenheid r , lijkt het beter rekening te houden met de schaalvoordelen die ontstaan, aangezien transportkosten per eenheden dalen bij grotere lotgroottes. Om die reden stelt Langley (1980, in Vernimmen & Witlox, 2003) volgende relaties voor:

- ✓ Proportionele relatie: $r = a - bQ$
- ✓ Exponentieel relatie: $r = a + bc^Q$ met $0 < c < 1$
- ✓ Inverse relatie: $r = a + \frac{b}{Q}$
- ✓ Discrete relatie: de transportkost is constant in bepaalde intervallen van Q

In bovenstaande relaties zijn variabelen r gelijk aan de transportkost per eenheid en Q de Economic Order Quantity.

Ook Ribus (2007) stelt dat de transportkost niet constant is en bovendien steeds afhankelijk dient te zijn van de afgelegde afstand en de benodigde tijd voor het transport.

Hierbij wordt wel opgemerkt dat er verschillende beïnvloedende factoren zijn bij het bepalen van deze prijs. Zo zijn beïnvloedende factoren onder andere de concurrentie op de specifieke markt, het getransporteerde volume en de onderhandelingskracht van de partijen. Ook vermelden de auteurs dat de bekomen resultaten met betrekking tot transportkosten dikwijls sterk verschillen, afhankelijk van gevoerde onderzoek. Dit wordt ook aangetoond door middel van tabel 15. Hierin worden de transportkosten uit diverse onderzoeken vergeleken. De getallen die vermeld worden in Vernimmen en Witlox (2003) worden met elkaar vergeleken door de transportkosten van een schip gelijk te stellen aan 1,00. De drie onderzoeken waar door Misschaert en Vannieuwenhuyse (2006) naar wordt verwezen (CBS, NEA, Europese Commissie) stonden reeds op relatieve schaal. Hieruit wordt duidelijk dat de schattingen erg variëren. Zo is een vliegtuig 10 à 80 keer duurder dan een schip, hetgeen tot zeer uiteenlopende resultaten kan leiden.

Tabel 15. Vergelijking transportkosten.

Transportkosten voor goederenvervoer						
	Vernimmen & Witlox		Misschaert & Vannieuwenhuysse			Gemiddeld
	<i>Prijs (cent per ton-mile)</i>	<i>Relatief</i>	CBS <i>Relatief</i>	NEA <i>Relatief</i>	Europese Commissie <i>Relatief</i>	
Schip	0,73	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Pijpleiding	1,40	1,92	1,30	0,30		1,17
Trein	2,50	3,42	3,30	1,90	1,39	2,50
Vrachtwagen	25,08	34,36	14,50	2,80	1,51	13,29
Bestelwagen					1,10	9,68 ⁶
Vliegtuig	58,75	80,48	48,00	10,00		46,16

Door de laatste kolom te vermenigvuldigen met 0.73 en 1,6 wordt de prijs per ton-km (in eurocent) gevonden⁷.

Door de grote variatie in bovenstaande gegevens wordt ervoor gekozen om de transportgegevens te baseren op gegevens die gebruikt worden in het ADA-model (tabel 16).

Tabel 16. Transportkosten per transportmodus.

Transportmodus	Transportkosten (euro/km)	Laad- en loskosten (euro/ton)
Kleine vrachtwagen	0,5	1
Grote vrachtwagen	1	2
Trein	15	0,4
Binnenvaart	9	0,4

Zoals eerder gesteld wordt de gebruikte transportkost gedefinieerd in euro per km. Dit bedrag veronderstelt een transportmiddel dat de volledige capaciteit benut. Om deze reden zal de uiteindelijke transportkost bij een trein of schip afhangen van hoeveel plaats door eigen goederen wordt ingenomen. Het totale bedrag zal dus vermenigvuldigd worden met het de vulniveau (ingenomen capaciteit gedeeld door totale capaciteit). Tabel 17 geeft alle gebruikte transportkosten weer per transportmodus.

⁶ $\frac{13,29 \times 1,10}{1,51}$

⁷ Om bijvoorbeeld de transportkost voor een trein te berekenen wordt dit $0,73 \times 2,50 \times 1,60$.

Tabel 17. Transportkosten. (eigen berekeningen)

Transportkosten	Kleine vrachtwagen	Grote vrachtwagen	Schip	Trein	Natransport schip	Natransport trein
Transportkost (per km)	0,50	1,00	9,00	15,00	1,00	1,00
Snelheid (km/u)	75,00	60,00	7,00	30,00	37,00	37,00
Afstand (km)	36,30	36,30	37,80	100,40	11,00	2,00
Transittijd (uur)	0,48	0,61	5,40	3,35	0,30	0,05
Transittijd (minuten)	29,04	36,30	324,00	200,80	17,84	3,24
Totaal per bestelling	18,15	36,30	340,20	1.506,00	11,00	2,00
Jaartotaal*	2.562,35	917,05	1.920,41	3.400,51	62,09	4,52
<small>*voor trein en schip is dit afhankelijk van het fill level</small>						

4.7.2. Bestelkosten

Het plaatsen van een bestelling brengt iedere keer vaste kosten met zich mee. Deze kosten zijn onafhankelijk van de bestelhoeveelheid en hangen enkel samen met de bestelfrequentie. Ze omvatten onder andere de kosten met betrekking tot:

- ✓ Ingave van de bestelling
- ✓ Interne goedkeuring van de bestelling
- ✓ Verzending van het order naar de leverancier
- ✓ Inspectie van de levering
- ✓ Boekhouding

Indien s de gemiddelde tijd is tussen bestellingen (in jaren), is $\frac{1}{s}$ het aantal bestellingen dat jaarlijks wordt geplaatst. De jaarlijkse bestelkost wordt dan $\frac{d}{s}$, met d de kost per bestelling.

In dit praktijkvoorbeeld wordt verondersteld dat er tweewekelijks wordt besteld aan een bestelkost van 20 euro (tabel 18).

Tabel 18. Bestelkosten. (eigen berekeningen)

Bestelkosten	Kleine vrachtwagen	Grote vrachtwagen	Schip	Trein
Aantal bestellingen per jaar	141,18	25,26	5,64	2,26
Kost per bestelling	20,00	20,00	20,00	20,00
Jaartotaal	2.823,53	505,26	112,90	45,16

4.7.3. Transporttijdskosten

Aangezien goederen die onderweg zijn ook beschouwd kunnen worden als voorraad, brengen deze ook kosten met zich mee. Zo is er enerzijds de kost voor het kapitaal dat vervat zit in de getransporteerde goederen (Ribus, 2007).

Anderzijds moet er rekening worden gehouden met de kans op bederfbaarheid, schade en verlies ten gevolge van het onderweg zijn van de goederen.

De transporttijdkosten kunnen berekend worden door de transporttijd per eenheid per jaar u te vermenigvuldigen met de transporttijd t . Dit getal vermenigvuldigen met de vervoerde hoeveelheid per jaar T leidt tot de jaarlijkse transporttijdkost. De waarde van u wordt vaak bepaald als een percentage van de waarde van de goederen. In dit geval wordt u gelijk gesteld aan 11% van de waarde van de goederen. Dit is gebaseerd op Baak, Ben-Akiva en De Jong (2008), waarin wordt gesteld dat er een marktrente van 4% en een eigenaarsrente van 7% in rekening dient te worden gebracht (tabel 19).

Tabel 19. Transporttijdkosten. (eigen berekeningen)

Transporttijdkost	Kleine vrachtwagen	Grote vrachtwagen	Schip	Trein	Natransport schip	Natransport trein
Kosten per eenheid per jaar	4,40	4,40	4,40	4,40	4,40	4,40
Transittijd (jaren)	5,53E-05	6,91E-05	6,16E-04	3,82E-04	3,39E-05	6,17E-06
Jaartotaal	29,17	36,47	325,48	201,72	17,92	3,26

4.7.4. Cyclische voorraadkosten

De cyclische voorraadkost bij de ontvanger is de kost die de voorraad in het magazijn van de ontvanger met zich meebrengt en wordt beschreven door

$$\frac{w * s * T}{2}$$

met

w : opslagkost (in dit voorbeeld 15% van de waarde)

$s * T$: aantal eenheden dat iedere keer wordt geleverd

Het aantal eenheden dat iedere keer wordt geleverd, zal steeds gradueel opgebruikt worden totdat de volgende levering plaatsvindt. Het vermenigvuldigen van de gemiddelde voorraad met de opslagkost leidt tot de cyclische voorraadkost (tabel 20).

De cyclische voorraadkost bij de verzender wordt buiten beschouwing gelaten, aangezien verondersteld wordt dat het verzendend bedrijf zeer frequent goederen verstuurd naar vele verschillende locaties, en dat daardoor de cyclische

voorraadkost bij de verzender verwaarloosbaar klein is (Vernimmen & Witlox, 2003).

Tabel 20. Cyclische voorraadkosten. (eigen berekeningen)

Cyclische voorraadkosten	Kleine vrachtwagen	Grote vrachtwagen	Schip	Trein
Voorraadkosten (per jaar)	2,00	2,00	2,00	2,00
Gemiddelde tijd tussen leveringen (jaar)	0,01	0,04	0,18	0,44
Jaartotaal	850,00	4.750,00	21.258,00	53.145,00

4.7.5. Kosten van veiligheidsvoorraad

De veiligheidsvoorraad wordt gebruikt als buffer voor schommelingen in zowel de levertijd (leverancierszijde) als de vraag (klantzijde). Hierdoor wordt getracht de negatieve gevolgen van een stockout (het niet op tijd kunnen leveren) te vermijden. De kost van veiligheidsvoorraad hangt af van het gewenste serviceniveau (Vernimmen & Witlox, 2003) en wordt beschreven door

$$w * K * \sqrt{(s + t) * T}$$

met

w : opslagkost

K : Poisson multiplier

t : transporttijd

s : gemiddelde tijd tussen bestellingen (in jaren)

Figuur 16 geeft een overzicht van de mogelijke p en bijhorende K-waarden. Indien men 50% kans wil hebben op een stockout hoeft men geen veiligheidsvoorraad aan te houden ($K = 0$). Een maximaal toelaatbaar risico op stockout van 5% leidt tot een Poisson multiplier van 1,64. Tabel 21 geeft de berekening van de kosten van veiligheidsvoorraad weer.

<i>p</i>	<i>K</i>	<i>p</i>	<i>K</i>
50%	0.00	4%	1.75
40%	0.25	3%	1.88
30%	0.52	2%	2.05
20%	0.84	1%	2.33
10%	1.28	0.5%	2.58
5%	1.64	0.05%	3.30

Figuur 16. Poisson multiplier. (Blauwens et al., 2002, in Vernimmen & Witlox, 2003)

Tabel 21. Kosten van veiligheidsvoorraad. (eigen berekeningen)

Kosten van veiligheidsvoorraad	Kleine vrachtwagen	Grote vrachtwagen	Schip	Trein
Voorraadkosten (per jaar)	2,00	2,00	2,00	2,00
Poisson multiplier	1,64	1,64	1,64	1,64
Gemiddelde tijd tussen leveringen (jaar)	0,01	0,04	0,18	0,44
Transittijd (jaren)	5,53E-05	6,91E-05	6,16E-04	3,82E-04
Jaartotaal	96,00	226,26	479,06	756,47

4.7.6. Overslagkosten

De overslagkost is de kost om de lading te laden en te lossen (Misschaert & Vannieuwenhuysse, 2006). De kosten met betrekking tot onder andere onderstaande activiteiten worden gerekend tot overslagkosten:

- ✓ verpakken en uitpakken van goederen (bv. in en uit een container)
- ✓ overzetten van een container van een boot naar een vrachtwagen
- ✓ fysiek laden en lossen op de vervoerdrager
- ✓ tijdelijke opslag tussen het lossen en het beschikbaar zijn van de volgende transportmodus

Om de overslagkost te berekenen bestaan er drie methodes (Van Breedam & Vannieuwenhuysse, 2007).

Een eerste methode is de volume gebaseerde methode. Dit wil zeggen dat de logistieke kosten als overheadkosten worden behandeld en dat deze worden gedeeld door het volume. De kost per container is dus voor iedere container constant en enkel afhankelijk van het overgeslagen volume. Deze methode is

evenwel niet de beste methode, aangezien de gebruikte diensten of producten in een terminal niet voor iedere container hetzelfde zijn.

Activity based costing is de tweede methode. Deze veronderstelt dat kosten veroorzaakt worden door de activiteiten die nodig zijn om producten te maken en diensten te leveren. De overslagkost wordt dan ook niet afhankelijk gesteld van het volume, maar wel van de activiteiten die worden uitgevoerd op een container.

Ten slotte is er de time-driven activity based costing. Dit is een eenvoudiger alternatief voor het traditionele activity based costing (Mutze & Van Ierland, 2007). Hierbij schatten managers de resourcebehoefte van transacties, producten en klanten per proces direct in en wordt er rekening gehouden met de belangrijkste variabelen die verschillen in verwerkingstijd veroorzaken. De verschillen tussen het gewone activity based costing en de time-driven variant wordt weergegeven in bijlage 4.

Het praktijkvoorbeeld dat uitgewerkt wordt in Van Breedam en Vannieuwenhuysse (2007) hanteert voor WCT een overslagkost van 31.03 euro per container. In deze prijs zit de kost met betrekking tot aankomst, lossen, opslag, laden en vertrek vevat. Fumigatie⁸ en in- of uitladen van de container zelf wordt buiten beschouwing gelaten. Hoewel het onduidelijk is of het hier gaat om een container van 1 TEU of 2 TEU, veronderstellen we dat de overslagkost voor beide gelijk is.

Informatie over de overslagkost in de terminal van Genk is niet beschikbaar, maar uit gegevens van Haven Genk (2007) blijkt dat er 80.000 TEU per jaar wordt overgeslagen. Ceteris paribus kan worden verondersteld dat de overslagkost te Genk zich ook in de buurt zal bevinden van 31.03 euro per container.

Een overzicht van de data met betrekking tot overslagkosten wordt in figuur 17 weergegeven.

⁸ Het behandelen van de container met bestrijdingsmiddelen om ongedierte te voorkomen. Op deze manier tracht men het verspreiden van bijvoorbeeld ziektes tegen te gaan.

ALGEMENE DATA OVERSLAGPROCES IN 2005			TABEL 1
	WCT	DPM	GCT
Modi	water, weg en spoor (in 2006)	spoor en weg	water en weg
Aantal containers	105.000	34.000	30.000
Medewerkers (FTE)	33	12	6,5
(Portaal)kraan	2	2	1
Reachstacker	6	3	3
Totale kost (in €)	3.258.040	1.239.761	624.846
Kost per container (in €)	31,03	36,46	20,83

Figuur 17. Overslagkosten van WCT Meerhout. (Van Breedam & Vannieuwenhuysse, 2007)

Hoewel er bij een kleine en grote vrachtwagen geen overslagkosten met betrekking tot het laden en lossen van containers van toepassing zijn, worden er wel kosten aangerekend voor het in- en uitladen van de goederen. Deze kosten worden vermeld in de tabel in het hoofdstuk over de transportkosten (titel 4.7.1) en bedragen voor een kleine en grote vrachtwagen respectievelijk 1 en 2 euro per ton. Tabel 22 toont de berekeningen met betrekking tot overslag- en laad/loskosten.

Tabel 22. Overslag- en laad/loskosten. (eigen berekeningen)

Overslag- en laad/loskosten	Kleine vrachtwagen	Grote vrachtwagen	Schip	Trein
Bij WCT (per container, in euro)			31,03	31,03
Bij terminal Genk (per container, in euro)			31,03	31,03
Laad- en loskosten (euro/ton)	1	2		
Totalen van natransport			80,01	7,77
Jaartotaal	192,00	384,00	3.232,93	3.230,76

4.7.7. Niet beschouwde kosten

Baak, Ben-Akiva en De Jong (2008) stellen dat de waardevermindering van goederen per ton-uur worden geschat op 0.1-0.3% van de totale waarde van de goederen. Hierbij wordt wel opgemerkt dat deze kost enkel in rekening dient gebracht te worden bij consumptiegoederen, verse vis, gekoelde ladingen, papier en ladingen van hoge waarde. Aangezien sportschoenen niet in deze categorieën vallen, worden deze kosten buiten beschouwing gelaten.

Kosten met betrekking tot voorraadtekort worden evenmin in rekening gebracht, omwille van het tekort aan beschikbare data over deze categorie.

4.7.8. Totaal van de logistieke kosten

Het sommeren van bovenstaande kosten leidt tot logistieke kosten in tabel 23.

Tabel 23. Totaal van de logistieke kosten. (eigen berekeningen)

Totale logistieke kosten	Kleine vrachtwagen	Grote vrachtwagen	Schip	Trein
Jaartotaal	6.553,05	6.819,04	27.328,78	60.779,62

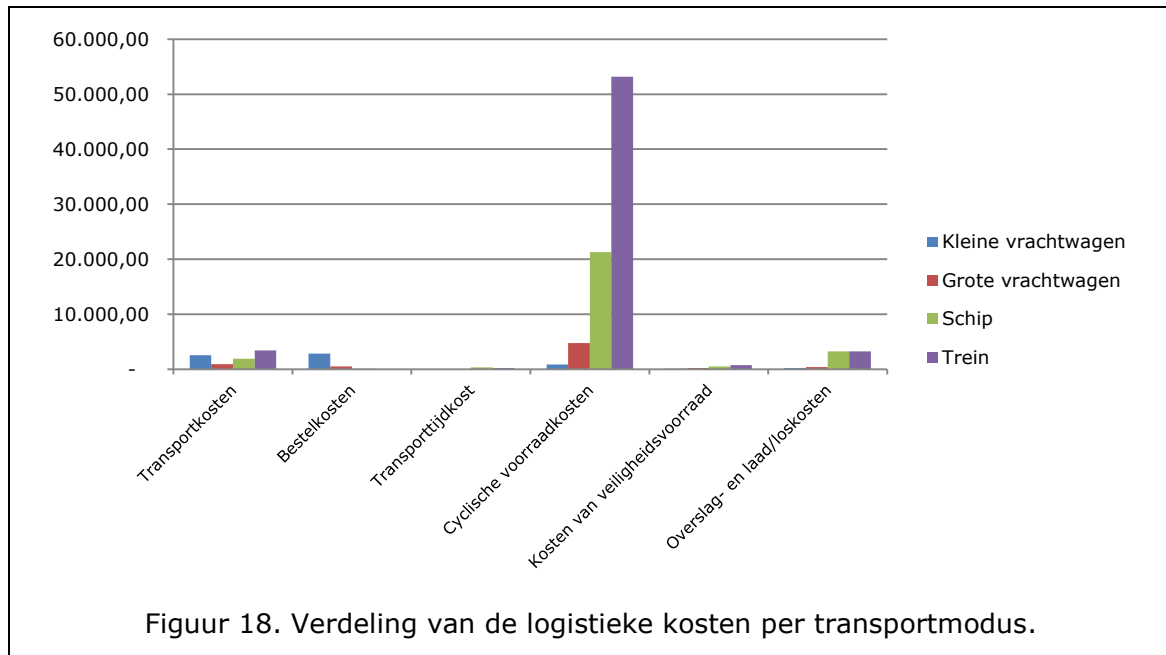
Deze gegevens hebben betrekking op transportmodi die zijn volgeladen. Ter herhaling worden in tabel 24 de kerngegevens per bestelling getoond.

Tabel 24. Kerngegevens per bestelling.

Vervoerwijze	Aantal eenheden per bestelling	Aantal bestellingen per jaar (afgerond)
Kleine vrachtwagen	850	141
Grote vrachtwagen	4.750	25
Schip	21.258	6
Trein	53.145	2

Jaarlijkse vraag is 120.000 eenheden

Hoewel een trein slechts twee maal dient de rijden tussen de twee punten, zijn de totale logistieke kosten bijna het tienvoud van de kosten bij een kleine vrachtwagen. Door in een grafiek (figuur 18) de verdeling van de totale logistieke kosten per transportmodus weer te geven, wordt duidelijk dat het leveren van 53.145 eenheden (twee maal per jaar) een erg grote invloed heeft op de cyclische voorraadkosten (de kosten met betrekking tot het in voorraad houden van deze items tot ze nodig zijn).



Indien enkel de kosten van volle transportmodi worden beschouwd, zal er in deze situatie gekozen worden voor een kleine vrachtwagen. Dit is echter niet realistisch, aangezien er in het dagelijks leven de mogelijkheid bestaat om een transportmodus niet volledig te vullen (waardoor andere bedrijven de overige capaciteit benutten). In de volgende hoofdstukken zullen de totale logistieke kosten dan ook geoptimaliseerd worden door middel van het aanpassen van het aantal items per bestelling. Hierdoor is het mogelijk dat een trein met lager vulniveau goedkoper wordt dan een volle vrachtwagen, mede door het dalen van de cyclische voorraadkosten.

4.8. Optimalisering van transport- en voorraadkosten

Na het berekenen van de totale logistieke kosten per keten (verondersteld dat de volledige capaciteit wordt benut) kan er gestart worden met het optimaliseren van deze kosten. Hiervoor wordt gebruik gemaakt van de methode beschreven in Baak, Ben-Akiva en De Jong (2008). Onderstaande stappen worden per transportketen uitgevoerd.

4.8.1. Stap 1

Voor een gegeven jaarlijkse goederenstroom Q wordt de optimale lotgrootte q^* berekend die onafhankelijk is van de transportkosten. De EOQ-methode die hiervoor gebruikt wordt is analoog aan de formule beschreven onder titel 3.2.2.

$$EOQ = \sqrt{\frac{2 \cdot D \cdot P}{C}}$$

met

D : jaarlijkse vraag naar het product

P : vaste kost, per bestelling (bestelkost)

C : voorraadkost per item per jaar

wordt in Baak, Ben-Akiva en De Jong (2008)

$$EOQ = q_k^* = \sqrt{\frac{2 \cdot o_k \cdot Q_k}{w_k + (i \cdot v_k)}}$$

met

o_k : vaste kost, per bestelling (bestelkost)

Q_k : jaarlijkse vraag naar het product (aantal eenheden)

w_k : voorraadkost per eenheid per jaar

i : jaarlijkse interestvoet

v : waarde van een eenheid

4.8.2. Stap 2

Door Q te delen door q_k^* wordt de optimale bestelfrequentie berekend. Hierna worden 20 mogelijke frequenties berekend in het interval

$$\left[0.2 \cdot \frac{Q}{q_k^*}, \frac{Q}{q_k^*} \right].$$

4.8.3. Stap 3

Voor iedere van deze 20 berekende frequenties worden de totale logistieke kosten berekend.

4.8.4. Stap 4

Hierna wordt de laagste totale logistieke kost in het interval bepaald, die leidt tot bestelfrequentie Q/q_k^{**} , waarbij q_k^{**} de hoeveelheid is die tot de laagste totale logistieke kost leidde.

4.8.5. Stap 5

Indien de optimale bestelfrequentie Q/q_k^{**} overeen blijkt te komen met de laagste waarde in het interval (dus $0.2 * \frac{Q}{q_k^{**}}$), wordt het bovenstaande proces opnieuw uitgevoerd voor het interval

$$\left[0.2 * \frac{Q}{q_k^{**}} , \frac{Q}{q_k^{**}} \right].$$

4.9. Toepassing van optimalisatie op praktijkvoorbeeld

4.9.1. Stap 1

Gebruik makend van de gegevens die in dit praktijkvoorbeeld worden verondersteld, kan de EOQ worden berekend.

$$EOQ = q_k^* = \sqrt{\frac{2 \cdot o_k \cdot Q_k}{w_k + (i \cdot v_k)}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 20 \cdot 120.000}{2 + (11\% \cdot 40)}} = 866 \text{ eenheden}$$

met

o_k : 20 euro

Q_k : 120.000 eenheden

w_k : 2 euro (5% van 40 euro)

i : 11%

v : 40 euro

Daar de maximale laadcapaciteit van een kleine vrachtwagen minder dan 866 eenheden is, zal voor deze transportmodus stap 3 beperkt zijn tot de berekening bij 850 eenheden.

4.9.2. Stap 2

De optimale bestelfrequentie wordt berekend door 120.000 te delen door 866. Dit leidt tot volgend interval

$$\left[0.2 \cdot \frac{120.000}{866} , \frac{120.000}{866} \right] = [27.71 , 138.57].$$

Volgens deze berekeningen bevindt de optimale bestelfrequentie zich tussen 28 en 139 bestellingen per jaar. Aangezien het aantal bestellingen steeds een geheel getal dient te zijn, wordt het interval (en bijbehorend aantal eenheden per bestelling) lichtjes gewijzigd (tabel 25).

Tabel 25. Berekening van interval.

Aantal bestellingen per jaar	Aantal items per bestelling
28,00	4285,71
34,00	3529,41
39,00	3076,92
45,00	2666,67
51,00	2352,94
57,00	2105,26
63,00	1904,76
69,00	1739,13
74,00	1621,62
80,00	1500,00
86,00	1395,35
92,00	1304,35
98,00	1224,49
104,00	1153,85
109,00	1100,92
115,00	1043,48
121,00	991,736
127,00	944,882
133,00	902,256
139,00	863,309

4.9.3. Stap 3 en 4

Het berekenen van de totale logistieke kosten per berekende frequentie en per transportmodus gebeurt aan de hand van Excel en wordt beschreven in bijlage 5. Om onderstaande resultaten te bekomen wordt de leverhoeveelheid als onafhankelijke variabele ingesteld, waardoor de relevante logistieke kosten zich automatisch aanpassen.

Keten 1: via kleine vrachtwagen

De totale logistieke kost bedraagt 6.553,05 bij een bestelfrequentie van 141 bestellingen per jaar (q_k^{**} is 850 eenheden per bestelling).

Keten 2: via grote vrachtwagen

Tabel 26. Interval met totale logistieke kosten voor grote vrachtwagen. (eigen berekeningen)

Stap 3: berekening totale logstieke kost per interval		
Intervallen		TLC
1	28,00	6.497,04
2	34,00	6.058,97
3	39,00	5.875,30
4	45,00	5.790,22
5	51,00	5.804,08
6	57,00	5.885,75
7	63,00	6.016,22
8	69,00	6.181,56
9	74,00	6.341,66
10	80,00	6.551,85
11	86,00	6.781,35
12	92,00	7.024,27
13	98,00	7.279,21
14	104,00	7.540,71
15	109,00	7.766,95
16	115,00	8.047,28
17	121,00	8.332,51
18	127,00	8.615,94
19	133,00	8.911,45
20	139,00	9.208,79

Na berekening van de totale logistieke kosten voor iedere bestelfrequentie (in het interval dat berekend werd in stap 2) kunnen we uit tabel 26 besluiten dat de laagste kosten overeenkomen met een bestelfrequentie van 45 bestellingen per jaar (q_k^{**} is 2.667 eenheden per bestelling).

Keten 3: via schip, natransport via grote vrachtwagen

Tabel 27. Interval met totale logistieke kosten voor schip. (eigen berekeningen)

Stap 3: berekening totale logstieke kost per interval			
Intervallen		TLC	
1	28,00	11.109,45	
2	34,00	11.264,38	
3	39,00	11.574,45	
4	45,00	12.083,64	
5	51,00	9.524,33	
6	57,00	9.827,00	
7	63,00	10.178,81	
8	69,00	10.564,09	
9	74,00	10.908,92	
10	80,00	11.338,73	
11	86,00	11.789,68	
12	92,00	12.253,37	
13	98,00	12.729,50	
14	104,00	13.209,69	
15	109,00	13.620,02	
16	115,00	14.123,23	
17	121,00	14.620,15	
18	127,00	15.130,65	
19	133,00	15.648,76	
20	139,00	16.167,18	

Na berekening van de totale logistieke kosten voor iedere bestelfrequentie (in het interval dat berekend werd in stap 2) kunnen we uit tabel 27 besluiten dat de laagste kosten overeenkomen met een bestelfrequentie van 51 bestellingen per jaar (q_k^{**} is 2.353 eenheden per bestelling). Dit komt overeen met het iedere keer bestellen van exact één container die tot capaciteit gevuld is.

Keten 4: via trein, natransport via grote vrachtwagen

Tabel 28. Interval met totale logistieke kosten voor trein. (eigen berekeningen)

Stap 3: berekening totale logstieke kost per interval			
Intervallen		TLC	
1	28,00	12.198,45	
2	34,00	12.299,25	
3	39,00	12.564,31	
4	45,00	13.019,33	
5	51,00	10.406,08	
6	57,00	10.654,62	
7	63,00	10.952,22	
8	69,00	11.283,63	
9	74,00	11.583,22	
10	80,00	11.959,24	
11	86,00	12.355,95	
12	92,00	12.765,57	
13	98,00	13.187,54	
14	104,00	13.614,17	
15	109,00	13.979,41	
16	115,00	14.428,05	
17	121,00	14.871,70	
18	127,00	15.328,02	
19	133,00	15.791,61	
20	139,00	16.255,89	

Na berekening van de totale logistieke kosten voor iedere bestelfrequentie (in het interval dat berekend werd in stap 2) kunnen we uit tabel 28 besluiten dat de laagste kosten overeenkomen met een bestelfrequentie van 51 bestellingen per jaar (q_k^{**} is 2.353 eenheden per bestelling). Dit komt overeen met het iedere keer bestellen van exact één container die tot capaciteit gevuld is.

4.9.4. Stap 5

De gevonden optima per transportmodus bevinden zich niet op de ondergrens van de intervallen waardoor geen verdere berekeningen vereist zijn.

4.10. Sensitiviteitsanalyse van transportkosten – deel A

In deze sensitiviteitsanalyse wordt gebruik gemaakt van de transportkosten zoals ze oorspronkelijk werken beschreven onder titel 4.7.1. Ter herhaling worden deze in tabel 29 getoond.

Tabel 29. Transportkosten per ton-km.

Vervoerwijze	Transportkosten (euro/ton-km)
Kleine vrachtwagen	11,31
Grote vrachtwagen	15,52
Trein	2,92
Binnenvaart	1,17

Gebruik makend van deze gegevens kunnen de totale logistieke kosten op een analoge manier berekend worden. Daar de transportkosten hier in euro per ton-km worden gedefinieerd, dient er hier geen rekening te worden gehouden met het vulniveau bij een schip of trein. Ter vereenvoudiging worden enkel stap 3 en 4 van de optimalisatie weergegeven.

4.10.1. Stap 3 en 4

Het berekenen van de totale logistieke kosten per berekende frequentie en per transportmodus gebeurt analoog aan het vorige hoofdstuk. Om onderstaande resultaten te bekomen wordt de leverhoeveelheid als onafhankelijke variabele ingesteld, waardoor de relevante logistieke kosten zich automatisch aanpassen.

Keten 1: via kleine vrachtwagen

De totale logistieke kost bedraagt 43.211,79 bij een bestelfrequentie van 141 bestellingen per jaar (q_k^{**} is 850 eenheden per bestelling).

Keten 2: via grote vrachtwagen

Tabel 30. Interval met totale logistieke kosten voor grote vrachtwagen. (eigen berekeningen)

Stap 3: berekening totale logstieke kost per interval			
Intervallen		TLC	
1	28,00	59.220,87	
2	34,00	58.564,91	
3	39,00	58.136,52	
4	45,00	57.847,41	
5	51,00	57.651,12	
6	57,00	57.518,47	
7	63,00	57.431,91	
8	69,00	57.379,53	
9	74,00	57.353,54	
10	80,00	57.348,09	
11	86,00	57.359,05	
12	92,00	57.383,51	
13	98,00	57.418,83	
14	104,00	57.463,12	
15	109,00	57.515,34	
16	115,00	57.573,29	
17	121,00	57.637,04	
18	127,00	57.706,52	
19	133,00	57.778,50	
20	139,00	57.854,91	

Na berekening van de totale logistieke kosten voor iedere bestelfrequentie (in het interval dat berekend werd in stap 2) kunnen we uit tabel 30 besluiten dat de laagste kosten overeenkomen met een bestelfrequentie van 80 bestellingen per jaar (q_k^{**} is 1.500 eenheden per bestelling). Deze uitkomst is verschillend aan die van de oorspronkelijke berekeningswijze van de transportkosten, waar het optimum ligt op 45 bestellingen per jaar.

Keten 3: via schip, natransport via grote vrachtwagen

Tabel 31. Interval met totale logistieke kosten voor schip. (eigen berekeningen)

Step 3: berekening totale logstieke kost per interval			
Intervallen		TLC	
1	28,00	29.512,71	
2	34,00	29.581,04	
3	39,00	29.877,07	
4	45,00	30.314,05	
5	51,00	27.672,74	
6	57,00	27.902,34	
7	63,00	28.177,68	
8	69,00	28.488,01	
9	74,00	28.823,57	
10	80,00	29.182,63	
11	86,00	29.554,62	
12	92,00	29.943,51	
13	98,00	30.341,69	
14	104,00	30.747,71	
15	109,00	31.163,82	
16	115,00	31.580,85	
17	121,00	32.005,63	
18	127,00	32.440,98	
19	133,00	32.870,45	
20	139,00	33.308,42	

Na berekening van de totale logistieke kosten voor iedere bestelfrequentie (in het interval dat berekend werd in stap 2) kunnen we uit tabel 31 besluiten dat de laagste kosten overeenkomen met een bestelfrequentie van 51 bestellingen per jaar (q_k^{**} is 2.353 eenheden per bestelling). Dit komt overeen met het iedere keer bestellen van exact één container die tot capaciteit gevuld is.

Keten 4: via trein, natransport via grote vrachtwagen

Tabel 32. Interval met totale logistieke kosten voor trein. (eigen berekeningen)

Stap 3: berekening totale logstieke kost per interval				
Intervallen		TLC		
1	28,00	39.870,00		
2	34,00	39.938,26		
3	39,00	40.234,23		
4	45,00	40.671,15		
5	51,00	38.029,79		
6	57,00	38.259,33		
7	63,00	38.534,63		
8	69,00	38.844,91		
9	74,00	39.180,43		
10	80,00	39.539,45		
11	86,00	39.911,39		
12	92,00	40.300,24		
13	98,00	40.698,39		
14	104,00	41.104,37		
15	109,00	41.520,45		
16	115,00	41.937,44		
17	121,00	42.362,19		
18	127,00	42.797,51		
19	133,00	43.226,95		
20	139,00	43.664,89		

Na berekening van de totale logistieke kosten voor iedere bestelfrequentie (in het interval dat berekend werd in stap 2) kunnen we uit tabel 32 besluiten dat de laagste kosten overeenkomen met een bestelfrequentie van 51 bestellingen per jaar (q_k^{**} is 2.353 eenheden per bestelling). Dit komt overeen met het iedere keer bestellen van exact één container die tot capaciteit gevuld is.

4.11. Sensitiviteitsanalyse van transportkosten – deel B

Het berekenen van de transportkosten kan ook op een andere manier gebeuren dan beschreven onder titel 4.7.1. Zo publiceerde Rosenbrand (2004) een document voor het Ministerie van Verkeer en Waterstaat (Nederland) waarin het berekenen van de kosten van vervoer van A ton van A naar B op volgende manier gebeurt:

Kosten vervoer van X ton van A naar B =

(kosten per ton per km) * (afstand van A naar B in km) * (X ton) +

(kosten per ton per uur) * (tijd van A naar B in uren) * (X ton)

De (relevante) kosten per ton (in euro) worden in tabel 33 weergegeven.

Tabel 33. Transportkosten per ton-uur en per ton-km.

Segment	Kosten per ton per uur	Kosten per ton per km
Wegvervoer – middel, container	4,98	0,03
Wegvervoer – groot, container	2,82	0,02
Binnenvaart – groot, container	0,1117	0,0035
Rail – container	0,925	0,03

Gebruik makend van deze gegevens kunnen de totale logistieke kosten op een analoge manier (zie bijlage 5) berekend worden. Ter vereenvoudiging worden enkel stap 3 en 4 van de optimalisatie weergegeven.

4.11.1. Stap 3 en 4

Het berekenen van de totale logistieke kosten per berekende frequentie en per transportmodus gebeurt aan de hand van Excel en wordt beschreven in bijlage 5. Om onderstaande resultaten te bekomen wordt de leverhoeveelheid als onafhankelijke variabele ingesteld, waardoor de relevante logistieke kosten zich automatisch aanpassen.

Keten 1: via kleine vrachtwagen

De totale logistieke kost bedraagt 4.134,64 bij een bestelfrequentie van 141 bestellingen per jaar (q_k^{**} is 850 eenheden per bestelling).

Keten 2: via grote vrachtwagen

Tabel 34. Interval met totale logistieke kosten voor grote vrachtwagen. (eigen berekeningen)

Stap 3: berekening totale logistieke kost per interval			
Intervallen		TLC	
1	28,00	5.370,26	
2	34,00	4.714,30	
3	39,00	4.285,91	
4	45,00	3.996,79	
5	51,00	3.800,51	
6	57,00	3.667,85	
7	63,00	3.581,29	
8	69,00	3.528,91	
9	74,00	3.502,93	
10	80,00	3.497,47	
11	86,00	3.508,44	
12	92,00	3.532,89	
13	98,00	3.568,22	
14	104,00	3.612,50	
15	109,00	3.664,73	
16	115,00	3.722,67	
17	121,00	3.786,43	
18	127,00	3.855,90	
19	133,00	3.927,88	
20	139,00	4.004,29	

Na berekening van de totale logistieke kosten voor iedere bestelfrequentie kunnen we uit tabel 34 besluiten dat de laagste kosten overeenkomen met een bestelfrequentie van 80 bestellingen per jaar (q_k^{**} is 1.500 eenheden per bestelling). Dit impliceert dat voor alternatieve beide berekeningswijzen van transportkosten hetzelfde optimum gevonden wordt.

Keten 3: via schip, natransport via grote vrachtwagen

Tabel 35. Interval met totale logistieke kosten voor schip. (eigen berekeningen)

Stap 3: berekening totale logstieke kost per interval		
Intervallen		TLC
1	28,00	9.057,37
2	34,00	9.125,69
3	39,00	9.421,73
4	45,00	9.858,70
5	51,00	7.217,39
6	57,00	7.446,99
7	63,00	7.722,33
8	69,00	8.032,66
9	74,00	8.368,23
10	80,00	8.727,29
11	86,00	9.099,27
12	92,00	9.488,16
13	98,00	9.886,34
14	104,00	10.292,36
15	109,00	10.708,47
16	115,00	11.125,50
17	121,00	11.550,28
18	127,00	11.985,63
19	133,00	12.415,10
20	139,00	12.853,07

Ook hier leidt een bestelfrequentie van 51 bestellingen per jaar tot de laagst mogelijke totale logistieke kosten (tabel 35).

Keten 4: via trein, natransport via grote vrachtwagen

Tabel 36. Interval met totale logistieke kosten voor trein. (eigen berekeningen)

Stap 3: berekening totale logstieke kost per interval				
Intervallen		TLC		
1	28,00	9.350,84		
2	34,00	9.419,10		
3	39,00	9.715,07		
4	45,00	10.151,99		
5	51,00	7.510,63		
6	57,00	7.740,18		
7	63,00	8.015,47		
8	69,00	8.325,75		
9	74,00	8.661,27		
10	80,00	9.020,29		
11	86,00	9.392,23		
12	92,00	9.781,08		
13	98,00	10.179,23		
14	104,00	10.585,22		
15	109,00	11.001,29		
16	115,00	11.418,28		
17	121,00	11.843,03		
18	127,00	12.278,35		
19	133,00	12.707,79		
20	139,00	13.145,73		

Ook hier leidt een bestelfrequentie van 51 bestellingen per jaar tot de laagst mogelijke totale logistieke kosten (tabel 36).

4.12. Bespreking van de sensitiviteitsanalyse met betrekking tot transportkosten

Uit bovenstaande berekeningen valt te besluiten dat het wijzigen van de berekeningswijze van de transportkosten weinig invloed heeft op de optimale bestelfrequentie, met uitzondering van grote vrachtwagen (waarbij er 80 in plaats van 45 bestellingen per jaar gevonden wordt). Hoewel de totale logistieke kosten per berekeningswijze sterk verschillen, blijkt dit over de bestelfrequenties heen geen invloed te hebben. Voor transportketens 3 en 4 (schip en trein, beide met natransport via grote vrachtwagen) leidt de optimalisatie voor alle drie de

berekeningsmethoden tot het plaatsen van 51 bestellingen per jaar. Dit komt overeen met een optimale lotgrootte van 2.353 eenheden. Aangezien de volgende bestelfrequentie in het interval gelijk is aan 45 bestellingen per jaar (2.666 eenheden, dus nood aan twee containers) leidt deze optimalisatie tot het volledig vullen van één container. Hoewel het gebruik van grotere lotgroottes (en dus meer dan één container per bestelling) tot lagere bestelkosten leidt, blijken de bijkomende kosten van overslag en cyclische voorraadkost dit voordeel teniet te doen. Aangezien men bij een schip en trein slechts de capaciteit dient te betalen die men effectief gebruikt (zie opmerking 4.5.5) blijven de transportkosten constant⁹. Een wijziging in lotgrootte heeft dus geen invloed op de transportkosten bij een schip en trein.

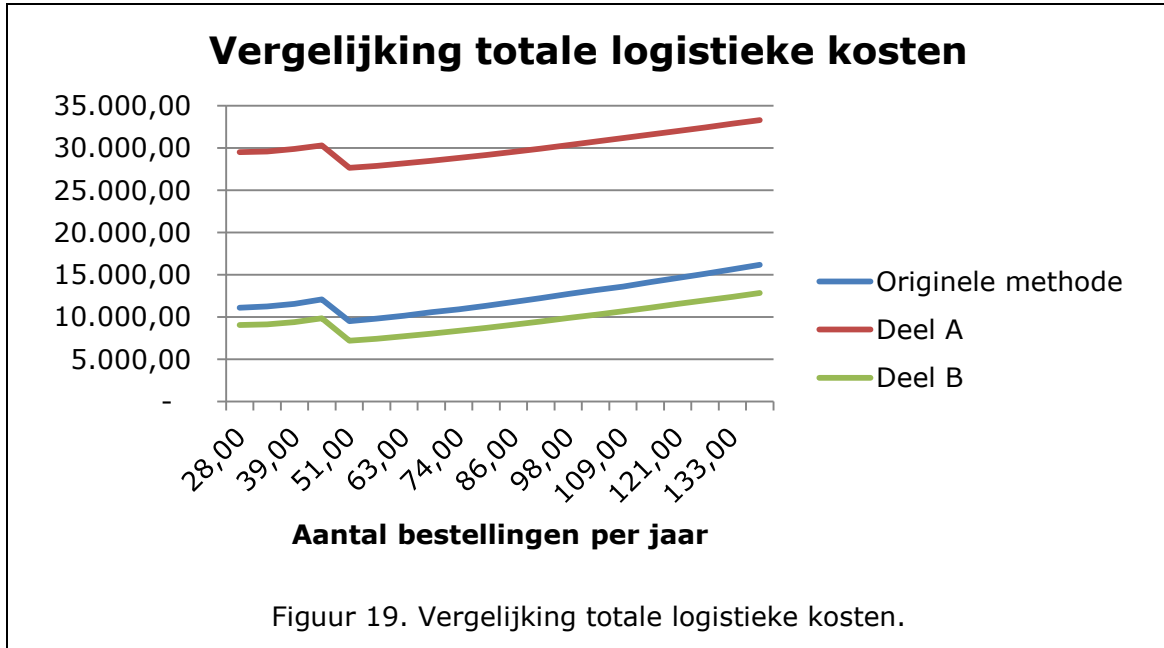
In tabel 37 worden de totale logistieke kosten voor een schip (natransport via grote vrachtwagen) ter illustratie weergegeven voor zowel de oorspronkelijke methode als de twee varianten hierop.

⁹ Indien men door het plaatsen van 5 bestellingen per jaar een vulniveau van 50% zou bereiken, betaalt men (bij een veronderstelde transportkost van 100 euro) jaarlijks $5 \cdot 50\% \cdot 100 = 250$ euro.

Indien men in een gewijzigde situatie 10 bestellingen per jaar wenst te plaatsen, daalt het vulniveau naar 25%. Hierdoor betaalt men nog steeds 250 euro ($10 \cdot 25\% \cdot 100$).

Tabel 37. Vergelijking van totale logistieke kosten per berekeningswijze (schip – incl. natransport).

		Euro per km	Euro per ton per km	Euro per ton per uur + euro per ton per km
		<i>Originele methode</i>	<i>Deel A</i>	<i>Deel B</i>
28,00	bestellingen/jaar	11.109,45	29.512,71	9.057,37
34,00	bestellingen/jaar	11.264,38	29.581,04	9.125,69
39,00	bestellingen/jaar	11.574,45	29.877,07	9.421,73
45,00	bestellingen/jaar	12.083,64	30.314,05	9.858,70
51,00	bestellingen/jaar	9.524,33	27.672,74	7.217,39
57,00	bestellingen/jaar	9.827,00	27.902,34	7.446,99
63,00	bestellingen/jaar	10.178,81	28.177,68	7.722,33
69,00	bestellingen/jaar	10.564,09	28.488,01	8.032,66
74,00	bestellingen/jaar	10.908,92	28.823,57	8.368,23
80,00	bestellingen/jaar	11.338,73	29.182,63	8.727,29
86,00	bestellingen/jaar	11.789,68	29.554,62	9.099,27
92,00	bestellingen/jaar	12.253,37	29.943,51	9.488,16
98,00	bestellingen/jaar	12.729,50	30.341,69	9.886,34
104,00	bestellingen/jaar	13.209,69	30.747,71	10.292,36
109,00	bestellingen/jaar	13.620,02	31.163,82	10.708,47
115,00	bestellingen/jaar	14.123,23	31.580,85	11.125,50
121,00	bestellingen/jaar	14.620,15	32.005,63	11.550,28
127,00	bestellingen/jaar	15.130,65	32.440,98	11.985,63
133,00	bestellingen/jaar	15.648,76	32.870,45	12.415,10
139,00	bestellingen/jaar	16.167,18	33.308,42	12.853,07



Uit figuur 19 is op te maken dat het verloop van de totale logistieke kosten identiek is voor de drie berekeningswijzen, enkel de getallen verschillen aanzienlijk. Hierdoor wordt het duidelijk dat de gebruikte transportgegevens (euro per km, per ton-km of per ton-km plus ton-uur) geen invloed hebben. Er wordt iedere keer gekozen voor 51 bestellingen per jaar of met andere woorden één volgeladen container per bestelling.

5. Kritische reflectie

5.1. Inleiding

Bij het opstellen van het gebruikte model om de logistieke kosten te berekenen dienen enkele zaken en opmerkingen vermeld te worden met betrekking tot:

- ✓ Gebruik van inputgegevens
- ✓ Veronderstellingen die gemaakt worden bij het opstellen van het model

5.2. Gebruik van inputgegevens

Zoals eerder vermeld werd, zijn er heel veel data nodig om de logistieke elementen te betrekken bij de transportkeuze. In tegenstelling tot dagdagelijkse situaties werd in deze praktijkstudie slechts één product beschouwd waarvan de jaarvraag, waarde en relevante kosten gekend en constant zijn. Het verzamelen van data van meerdere producten met een variërend vraagpatroon brengt diverse moeilijkheden met zich mee. Zo zal er op bepaalde tijdstippen een bepaalde hoeveelheid verplicht bij de ontvanger aanwezig moeten zijn (bv. om een vooropgesteld serviceniveau te halen), hetgeen het gebruik van gelijke tijdsperiodes tussen leveringen niet meer mogelijk maakt.

Het beschreven en gebruikte ADA-model (titel 2.5) heeft volgens Ben-Akiva en De Jong (2008) nood aan volgende gegevens:

- ✓ Informatie voor de disaggregatie (productie-consumptie stroom omzetten naar individuele bedrijven, stap A)
 - Het aantal bedrijven, per producttype en per zone
 - De omzet van deze bedrijven en/of het aantal werknemers
 - Het consumptiepatroon, per producttype
- ✓ Informatie voor de logistieke beslissing (stap B)
 - Data over individuele lading

- Sector van de verzender
 - Sector van de ontvanger
 - Oorsprong
 - Bestemming
 - Waarde van de lading (euro/kg of euro/eenheid)
 - Mogelijke transportmodi
 - Verpakkingseenheid
 - Lotgrootte
 - Vereiste frequentie
 - Transporttijd
- Data over de gebruikte en mogelijke havens, luchthavens, terminals, consolidatie- en distributiecentra
 - Data over transport- en logistieke kosten
 - Transportkosten per afgelegde kilometer
 - Terminalkosten
 - Handlingkosten
 - Opslagkosten
 - Kosten van vertraging
- ✓ De aggregatie (stap C) heeft geen extra informatie nodig

In dit praktijkgedeelte werd duidelijk dat vooral het correct bepalen van de kosten (van transport, overslag, het plaatsen van een bestelling, cyclische voorraad, transporttijd en veiligheidsvoorraad) een probleem stelt. Zo zijn er vaak geen data beschikbaar over de vaste kost per bestelling of kost om iets in voorraad te houden. Doordat zo goed als geen enkel bedrijf slechts één product aanbiedt, is het moeilijk om deze kosten per individueel product op te splitsen. De nodige gegevens die hieronder besproken worden zijn aanvullend bij de bevindingen van Ben-Akiva en De Jong (2008).

- ✓ Transportkosten
- Transportkost per ton-uur of een andere relevante eenheid
 - Gemiddelde snelheid van het transportmiddel

- ✓ Bestelkosten
 - Aantal bestellingen per jaar (moeilijker te berekenen indien er ongelijke lotgroottes worden toegepast)
 - Kost van het plaatsen van één bestelling

- ✓ Transporttijdskosten
 - Kost per eenheid per jaar (hoeveel zijn de goederen waard indien ze onderweg zijn)

- ✓ Cyclische voorraadkosten
 - Voorraadkost per eenheid per jaar
 - Verdeelsleutel voor het toewijzen van kosten met betrekking tot verwarming, verzekering, etc. .

- ✓ Kosten van veiligheidsvoorraad
 - Gewenste serviceniveau per product
 - Gemiddelde tijd tussen leveringen
 - Gemiddelde en variantie van lead time (tijd tussen het plaatsen van een bestelling en ontvangst van de goederen)
 - Gemiddelde en variantie van vraag naar product

- ✓ Overslagkosten
 - Overslagkost per ton of container, per locatie

De benodigde gegevens worden samengevat in tabel 38.

Tabel 38. Benodigde gegevens.

Aard van het gegeven	Gegeven	Graad van detail (opsplitsing per ...)	
Globaal	Aantal bedrijven	Producttype en zone	
	Omzet	Bedrijf	
	Aantal werknemers	Bedrijf	
	Locatie, capaciteit en speciale eigenschappen	Knooppunt	
	Bestaande vloot	Bedrijf	
	Eigenschappen van transportmodi	Transportmodi	
Vraag	Consumptie- of vraagpatroon	Producttype	
Lading	Sector van de verzender		
	Sector van de ontvanger		
	Oorsprong		
	Bestemming		
	Waarde		
	Mogelijke transportmodi		
	Verpakkingseenheid		
	Lotgrootte		
	Vereiste frequentie		
	Transporttijd		
	Tijdgevoeligheid van de levering		
	Lead time		
	Kosten (per ton of per eenheid)	Transportkosten	
		Terminalkosten	
	Handlingkosten		
	Opslagkosten		
	Kosten van vertraging		
	Bestelkosten		
	Transittijdkosten		
	Overslagkosten		
Product	Type		
	Waarde		
	Gewenste serviceniveau		

Uit het praktijkgedeelte is gebleken dat correct verzamelen van bepaalde kosten problematisch kan zijn. Een eerste voorbeeld hiervan zijn de transportkosten. Aangezien deze vaak deel uitmaken van de onderhandeling tussen verzender en ontvanger (of een eventuele derde partij), is het moeilijk een schatting te bekomen hiervan. Ook de manier waarop deze kosten berekend en gebruikt worden (per ton-km, per ton-uur, per km of een combinatie hiervan) speelt een grote rol en is afhankelijk van situatie tot situatie. Een sensitiviteitsanalyse (zoals uitgevoerd onder titel 4.10 en 4.11) is dan ook aangewezen.

Ook de bestelkosten brengen twee problemen met zich mee. Ten eerste kan het verzamelen van de relevante data (administratieve kosten per bestelling, inspectiekosten, etc.) tot moeilijkheden leiden. Daarnaast is het verdelen een aandachtspunt. Men mag immers enkel die kosten aanrekenen die noodzakelijk zijn om de bestelling correct te ontvangen, en dus niet de algemene bedrijfskosten.

Het bepalen van de waarde van goederen die onderweg zijn (transporttijdskosten), gecombineerd met het rekening houden van waardevermindering of kans op schade, zal vaak arbitrair gekozen moeten worden aangezien het verzamelen van deze gegevens (zeker bij een diverse lading) nagenoeg onmogelijk is.

De voorraadkosten (voor de cyclische voorraadkosten en kosten van veiligheidsvoorraad) zijn meestal wel gekend, aangezien men weet wat men betaalt aan huur, verzekering, etc. voor een magazijn. Voor het toewijzen van deze kosten onder de producten of bestellingen dient men wel een bepaalde verdeelsleutel te hanteren.

Ten slotte zijn er de overslagkosten. Aangezien dit vaak door een externe firma gebeurt, is het hier wel mogelijk een relatief gedetailleerd kostenoverzicht te bekomen per overgeslagen container.

Ben-Akiva en De Jong (2009) geven een overzicht van de mogelijke bronnen waar deze benodigde gegevens gedeeltelijk of volledig uit verzameld kunnen worden:

- ✓ Informatie over import en export, uit onder andere handelsstatistieken. Deze informatie wordt meestal uitgedrukt in monetaire eenheden.
- ✓ Input/output tabellen: deze geven een overzicht van de stromen van producten en diensten tussen de verschillende sectoren, in monetaire eenheden.
- ✓ Gegevens met betrekking tot transport en interviews¹⁰ geven informatie over de reisroute van de diverse transportmodi.
- ✓ Verkeerstellingen geven een overzicht van het gebruik van het netwerk (bv. het wegen- of spoornet).
- ✓ Informatie over terminals zoals locatie, type van goederen, doorvoer en kosten.

Doordat deze gegevens vaak in monetaire eenheden worden uitgedrukt, is het enorm moeilijk om aan de hand hiervan berekeningen uit te voeren zoals beschreven in het praktijkgedeelte. Het zoeken van de optimale lotgrootte (door het vergelijken van de totale logistieke kosten) steunt immers sterk op het gebruik van eenheden zoals aantal items of aantal ton.

Door het gebruik van nieuwe technologieën (digitalisering van verzonden orders of vrachtbrieven, RFID-tags, etc.) wordt het veel makkelijker voor een bedrijf de goederenstroom op te volgen. Hoewel deze informatie erg waardevol kan zijn bij het opstellen van een model dat de logistieke beslissingen en de transportkeuze linkt, kan/mag deze informatie vaak niet publiek beschikbaar gesteld worden.

¹⁰ In dergelijk interview wordt dan nagegaan wat de oorsprong en bestemming, het type product en de hoeveelheid is.

Ten slotte dient opgemerkt te worden dat het outsourcen van de logistieke functies (door het gebruik van een third party logistics provider¹¹) het berekenen van de relevante kosten een stuk vereenvoudigt. Zo geeft de externe partij op de factuur een overzicht van bijvoorbeeld de aangerekende transportkosten, die dan door middel van een verdeelsleutel mogelijks nog toegewezen worden aan bepaalde producten. Ook bieden offertes vaak een goede blik op de kosten die in achtving genomen moeten worden bij het bepalen van het transportmiddel.

5.3. Veronderstellingen die gemaakt worden bij het opstellen van het model

Bij het opstellen van het gebruikte model voor deze praktijkstudie werden ter vereenvoudiging verschillende veronderstellingen gemaakt. Deze kunnen worden opgesplitst op het gebied van vraag, product en betrokken partijen.

Allereerst zijn er veronderstellingen met betrekking tot het aanbod (distributiecentrum te Laakdal) en de vraag (distributiecentrum te Genk). Het aanbod is constant en oneindig, wat wil zeggen dat men zowel iedere dag als eenmaal per jaar goederen kan verzenden. De vraag is gekend en een jaar lang constant, er zijn met andere woorden geen piekperiodes.

Daarnaast zijn er veronderstellingen met betrekking tot het product. Het product is uniform qua waarde en vorm en heeft ook geen speciale verpakkingsvereisten. Het consolideren van bestellingen van verschillende bedrijven is enkel mogelijk bij boten of treinen, waarna de transportkost verdeeld wordt naargelang van de ingenomen capaciteit. Er is ook geen nood aan het terugzenden van defecte producten, zgn. reverse logistics.

¹¹ Dit kan gaan van een erg beperkte samenwerking (enkel opslag en transport) tot een complexe samenwerking tussen de bedrijven. Lieb (1992) definieerde third-party logistics (3PL) als "het gebruik van externe bedrijven om logistieke functies uit te voeren, die traditioneel uitgevoerd werden door de organisatie zelf. Deze functies kunnen het hele logistieke proces omvatten, of enkel geselecteerde activiteiten van dat proces".

Vervolgens wordt gesteld dat er bij zowel de verzender als de ontvanger onbeperkte opslagcapaciteit is.

Ten slotte worden de kosten die voortkomen uit het gebruik van een bepaalde transportmodus voor een enkele rit gerekend. Een lege of volle terugrit of ander gebruik van het transportmiddel wordt buiten beschouwing gelaten. De transportmodi zijn overigens onbeperkt beschikbaar. De transportkeuze is onafhankelijk van het reeds beschikbare en aangekochte middelen en gebaseerd op de totale logistieke kosten.

Door in verdere onderzoeken deze veronderstellingen weg te laten kan men situaties creëren die dichter aanleunen bij de realiteit. Zo is het weinig realistisch dat enkel één uniform en afgewerkt product (zowel op het gebied van waarde als van vorm) verzonden dient te worden tussen twee locaties.

6. Conclusie

Na een situering in het eerste hoofdstuk werden een centrale onderzoeksvraag en drie deelvragen gesteld. In volgende hoofdstukken werd op zoek gegaan naar antwoorden op deze vragen.

6.1. Integratie logistieke beslissingen en transportkeuze

Uit de literatuurstudie blijkt dat vele modellen voor goederentransport logistieke keuzes buiten beschouwing laten. Toch werden deze modellen geanalyseerd om na te gaan op welke manier de keuze met betrekking tot transportmiddel tot stand komt.

In het traditionele vierstapsmodel worden weliswaar enkele factoren genoemd die een invloed hebben op de transportmodus, maar echte logistieke factoren zoals voorraadbeleid ontbreken hierin.

Het model van Liedtke daarentegen gebruikt wel een totale logistieke kosten-aanpak om de optimale transportmodus te bepalen. Zo wordt er virtueel over contracten onderhandeld die onderling op diverse punten verschillen.

Het besproken ADA-model bevat een redelijk complete logistieke module. Dit is mede mogelijk door de disaggregatie die plaatsvindt: men analyseert de logistieke beslissing op bedrijfsniveau in plaats van bv. sectorniveau. In deze module worden de totale logistieke kosten gebruikt om beslissingen met betrekking tot lotgrootte, transportmodus, etc. te nemen.

6.2. Analyse van logistieke module

Er zijn diverse logistieke factoren waar men rekening mee kan houden bij het maken van de transportkeuze.

Hoewel duidelijk blijkt dat erg vaak de transportkost, transittijd en betrouwbaarheid als belangrijkste criteria voor de transportkeuze werden gehanteerd, kan logistieke invloed gevonden worden in het analyseren van de leverfrequentie en eventuele gebruik van consolidatie.

Het voorraadbeleid hangt samen met zowel de bestelfrequentie als de bestelhoeveelheid. Indien men ervoor kiest grotere voorraden aan te houden (bv. omwille van een vereist serviceniveau), zal de bestelhoeveelheid groter zijn en de leverfrequentie bijgevolg lager. Een just-in-time-beleid daarentegen streeft naar minimale voorraden door middel van erg frequente leveringen.

Hoewel consolidatie in de literatuur niet vaak voorkomt als beïnvloedende factor bij de transportkeuze is het toch de moeite om te vermelden. Het leidt immers tot lagere transportkosten per eenheid, hetgene op zijn beurt een invloed heeft op de transportkeuze. Verder onderzoek op het gebied van consolidatie is dan ook aangewezen.

6.3. Bespreking van praktijkgedeelte

In het praktijkgedeelte wordt aan de hand van een fictieve case nagegaan hoe totale logistieke kosten gebruikt kunnen worden binnen het ADA-model.

Er worden vier transportketens opgesteld om een lading tussen Laakdal en Genk te transporteren. De eerste twee zijn directe ketens zonder overslag, nl. door het gebruik van een kleine en grote vrachtwagen. De andere twee (schip en trein) vereisen geen voortransport omwille van de trimodale terminal te Laakdal, maar wel natransport tot aan het distributiecentrum te Genk.

Het totale logistiek kosten-model dat gebruikt wordt, is gebaseerd op zes kosten. Deze zijn transport-, bestel-, transporttijd-, cyclische voorraad-, overslagkosten en kosten van veiligheidsvoorraad. Hoewel het opstellen van dit model aan het licht brengt hoeveel gegevens er nodig zijn, kan aan de hand van diverse veronderstellingen toch een beeld gevormd worden van de verdeling van de logistieke kosten. Hieruit blijkt dat de cyclische voorraadkost een erg doorslaggevende factor is. Dit is nadelig voor transportmodi met een grote

capaciteit, waarbij de cyclische voorraadkost ongeveer 80% van het totaal bedraagt.

Het optimaliseren van de lotgrootte gebeurt aan de hand van de EOQ-methode en is gebaseerd op de totale logistieke kosten. Deze houdt in dat de optimale lotgrootte wordt gezocht (onafhankelijk van de transportkost) om zo een interval van mogelijke lotgroottes, en dus ook bestelfrequenties, op te stellen. Het berekenen en minimaliseren van de totale logistieke kosten per bestelfrequentie leidt op die manier tot de laagst mogelijke totale logistieke kost per transportmodus.

Aan de hand van de berekeningen is af te leiden dat het in deze fictieve case steeds optimaal is om per keer één container te bestellen in het geval van transport via schip of trein. De hogere bestelkost die hiermee gepaard gaat wordt gecompenseerd door de lagere overslagkosten en cyclische voorraadkosten.

Uit het praktijkgedeelte blijkt dat het steeds optimaal is om een kleine vrachtwagen volledig te vullen en een grote vrachtwagen voor ongeveer 55%, al zijn deze laatste bevindingen afhankelijk van de methode waarop de transportkosten berekend worden.

Het onderling vergelijken van de laagst mogelijke totale logistieke kosten wijst op het feit dat in deze case het gebruik van een grote vrachtwagen is aangewezen.

Het praktijkgedeelte wordt afgesloten met een kritische reflectie over het gebruikte model. Het opstellen van het model brengt twee problemen met zich mee. Aan de ene kant is het correct verzamelen van de benodigde data (bv. het totaal van de relevante voorraadkosten per jaar) een moeilijkheid. Aan de andere kant moet ook aandacht besteed worden aan het correct toekennen van deze totale kosten aan individuele producten. Enkel als er voldoende aandacht aan deze twee punten geschonken wordt, kan de totale logistieke kosten-methode gebruikt worden om een betere integratie van de logistieke beslissingen in de transportkosten toe te laten.

7. Lijst van geraadpleegde werken

- Andersson, H., Hoff, A., Christiansen, M., Hasle, G., & Lokketangen, A. (2010). Industrial aspects and literature survey: Combined inventory management and routing. [Review]. *Computers & Operations Research*, 37(9), 1515-1536.
- Baak, J., Ben-Akiva, M., & De Jong, G. (2008). Method Report - Logistics Model in the Norwegian National Freight Model System (Version 2).
- Ballou, R. H. (1999). Business logistics management: planning, organizing, and controlling the supply chain. Upper Saddle River, N.J.: Prentice Hall.
- Baumol, W. J., & Vinod, H. D. (1970). An Inventory Theoretic Model of Freight Transport Demand. *Management Science*, 16(7), 413-421.
- Ben-Akiva, M., & De Jong, G. (2007). A micro-simulation model of shipment size and transport chain choice. *Transportation Research Part B: Methodological*, 41(9), 950-965.
- Ben-Akiva, M., & De Jong, G. (2008). The Aggregate-Disaggregate-Aggregate (ADA) Freight Model System *Recent Developments in Transport Modelling: Lessons for the Freight Sector*: Elsevier Science Ltd.
- Ben-Akiva, M., & de Jong, G. (2009). Transportation and logistics in supply chains *The Handbook of Technology Management*: John Wiley & Sons.
- Berghmans, M. (2006). Bepaling van optimale verzendingsstrategieën bij verschillende transportalternatieven.
- Beullens, P. (2009). Lecture Notes Integrated Logistics v3.
- Blum, J. (2007). Autosnelwegen België. In http://nl.wikipedia.org/wiki/Bestand:Autosnelwegen_België.svg.
- Cantarelli, C. C., Chappin, E. J. L., & Klompenhouwer, A. M. (2004). Onderzoek naar waterstoftransport. Retrieved from
- Daughety, A. F. (1985). *Analytical studies in transport economics*. Cambridge.

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 Maeyer, J., & Pauwels, T. (2003). Mode choice modelling. A literature review on the role of Quality of Service attributes and their monetary valuation in freight demand models: University of Antwerp, Faculty of Applied Economics.

Egs. (2005). Spoorwegen België
http://nl.wikipedia.org/wiki/Bestand:Spoorwegen_België.png.

Feo-Valero, M., García-Menéndez, L., Sáez-Carramolino, L., & Furió-Pruñonosa, S. (2011). The importance of the inland leg of containerised maritime shipments: An analysis of modal choice determinants in Spain. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 47(4), 446-460.

Haven Genk. (2007). Activiteiten Barge Terminal, from
<http://www.havengenk.be/bargeterminal>

Hillier, F. S., & Lieberman, G. J. (2010). *Introduction to Operations Research* (9 ed.). New York: McGRAW-HILL.

Horngren, C. T., Datar, S. M., & Foster, G. (2006). *Cost Accounting* (12 ed.). New Jersey: Pearson Prentice Hall.

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

Infrabel. (2011). Netverklaring 2011 & 2012 *Schematische netkaart*.

Jin, Y., Shahkarami, M., & Williams, I. (2005). Integrated regional economic and freight logistics modelling: Results from a model for Trans-Pennine corridor, UK Association for European Transport.

Kang, J. H., & Kim, Y. D. (2010). Coordination of inventory and transportation managements in a two-level supply chain. [Article]. *International Journal of Production Economics*, 123(1), 137-145.

- Lieb, R. C. (1992). THE USE OF THIRD-PARTY LOGISTICS SERVICES BY LARGE AMERICAN MANUFACTURERS. [Article]. *Journal of Business Logistics*, 13(2), 29-42.
- Liedtke, G. (2009). Principles of micro-behavior commodity transport modeling. [Article]. *Transportation Research: Part E*, 45(5), 795-809. doi: 10.1016/j.tre.2008.07.002
- ME&P, & WSP. (2002). Review of Freight Modelling *Report B2 - Review of Models in Continental Europe and Elsewhere*.
- Misschaert, M., & Vannieuwenhuyse, B. (2006). Totale logistieke kost beslissingsondersteund bij de de bepaling van de optimale modal split: VIL.
- Mutze, B., & Van Ierland, D. (2007). Time Driven ABC: nieuw in Nederland? Retrieved from http://www.nl.atosconsulting.com/NR/rdonlyres/A2664E2D-727C-4B96-A362-72F0AA57AE4D/0/4447CM5_6_timedrivenabc.pdf
- Ortúzar, J. d. D., & Willumsen, L. G. (1995). *Modelling transport* (2 ed. ed.). Chichester: Wiley.
- Pan, Z. D., Tang, J. F., & Fung, R. Y. K. (2009). Synchronization of inventory and transportation under flexible vehicle constraint: A heuristics approach using sliding windows and hierarchical tree structure. [Article]. *European Journal of Operational Research*, 192(3), 824-836. doi: 10.1016/j.ejor.2007.10.011
- Ribus, L. (2007). *Totale logistieke kosten in multimodaal goederenvervoer : uitwerking en validatie van een beslissingsondersteunend model*. UHasselt.
- Roorda, M. J., Cavalcante, R., McCabe, S., & Kwan, H. (2010). A conceptual framework for agent-based modelling of logistics services. [Article]. *Transportation Research: Part E*, 46(1), 18-31.
- Rosenbrand, A. (2004). Factorkosten van het goederenvervoer: een analyse van de ontwikkeling in de tijd (tweede druk): Ministerie van Verkeer en Waterstaat.
- Schreurs, J. P. (z.d.). Waterwegen Vlaanderen <http://users.skynet.be/jeanpierre.schreurs/aardrijkskunde/verkeer7.html>.

Tavasszy, L. (2008). Freight Modeling: An Overview of International Experiences. *Transportation Research Board Conference Proceedings*(40), 47-55.

Van Breedam, A., & Vannieuwenhuyse, B. (2007). Een kostenstructuur voor overslag op intermodale terminals: VIL.

Verberght, E. (2006). De WCT-terminal van Meerhout *Paper in het kader van het vak Maritieme en Havenconomie*: Universiteit Antwerpen.

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 - Agentschap Infrastructuur afdeling Verkeerskunde. (2006). Verkeerstellingen 2006.

8. Bijlagen

8.1. Bijlage 1: Uitgewerkt voorbeeld van zwaartekrachtmodel

Het zwaartekrachtmodel vertrekt steeds vanaf een OD (origin-destination) matrix, waarin in de randen de gegevens te vinden zijn met betrekking tot de productie en attractie (Immers & Stada, 2011). Deze tabel dient op een optimale manier gevuld te worden, zodanig dat er aan de randvoorwaarden wordt voldaan.

Randvoorwaarden					
	1	2	3	4	voorspelde O_i
1					400
2					460
3					400
4					702
voorspeld e D_j	260	400	500	802	1962

Figuur 20. Randvoorwaarden in een OD-matrix (Immers & Stada, 2011).

De verdeling van de D_j en O_i dient steeds te voldoen aan bepaalde beperkingen of weerstanden (kosten, minuten, etc.). De interpretatie van bijvoorbeeld c_{13} is dat er tussen oorsprong 1 en bestemming 3 18 minuten gereisd wordt.

Weerstanden c_{ij} (minuten)				
	1	2	3	4
1	3	11	18	22
2	12	3	13	19
3	15.5	13	5	7
4	24	18	8	5

Figuur 21. Weerstanden van gegevens

Aan de hand van een vooraf gedefinieerde distributiefunctie, kan er een startmatrix opgesteld worden. In dit voorbeeld is de distributiefunctie $F(c_{ij}) = e^{-0.1 * c_{ij}}$.

Startmatrix $F(c_{ij}) = \exp(-0.1 c_{ij})$						
	1	2	3	4	\sum_j	voorspelde O_i
1	0.74	0.33	0.17	0.11	1.35	400
2	0.30	0.74	0.27	0.15	1.49	460
3	0.21	0.27	0.61	0.50	1.59	400
4	0.09	0.17	0.45	0.61	1.32	702
\sum_i	1.34	1.51	1.53	1.37	5.75	
voorspelde D_j	260	400	500	802		1962

Figuur 22. OD matrix ingevuld met gegevens uit distributiefunctie.

Om te voldoen aan de randvoorwaarden wordt de tabel gevuld volgens het Furness iteratieproces. Dit houdt in dat er iteratief volgende bewerking wordt uitgevoerd:

Voor rijen

Vermenigvuldig iedere coëfficiënt met de groefactor $(\frac{O_i}{\sum_j})$.

Voor rij 1 is de groefactor $400 / 1,35 = 296,30$. Alle waardes van rij 1 worden met deze factor vermenigvuldigd.

Voor kolommen

Vermenigvuldig iedere coëfficiënt met de groefactor $(\frac{D_j}{\sum_i})$.

Voor kolom 1 is de groefactor 260 gedeeld door de zonet gewijzigde \sum_i . Alle waardes van kolom 1 worden met deze factor vermenigvuldigd.

Iteratie

Hierna dienen nieuwe groefactoren voor de rij berekend te worden, gevolgd door dezelfde uitwerking voor kolommen. Dit wordt herhaald totdat de groefactoren niet meer dan 1,0 verschillen.

Het eindresultaat wordt in figuur 23 getoond.

Verplaatsingen T_{ij} berekend met het zwaartekrachtmodel						
	1	2	3	4	\sum_j	a_i
1	157	98	69	76	400	410.0
2	59	204	101	96	460	379.5
3	25	45	138	192	400	229.0
4	19	53	192	438	702	428.7
\sum_i	260	400	500	802	1962	
b_j	0.52	0.73	0.99	1.68		

Figuur 23. Resultaten voorbeeld zwaartekrachtmodel

Het nadeel van deze Furness methode is de afhankelijkheid van de beginstap. Indien er wordt gestart met het berekenen van de groeifactor voor kolommen, zal het eindresultaat enigszins verschillen.

8.2. Bijlage 2: Verkeerstellingen E313 (2006)

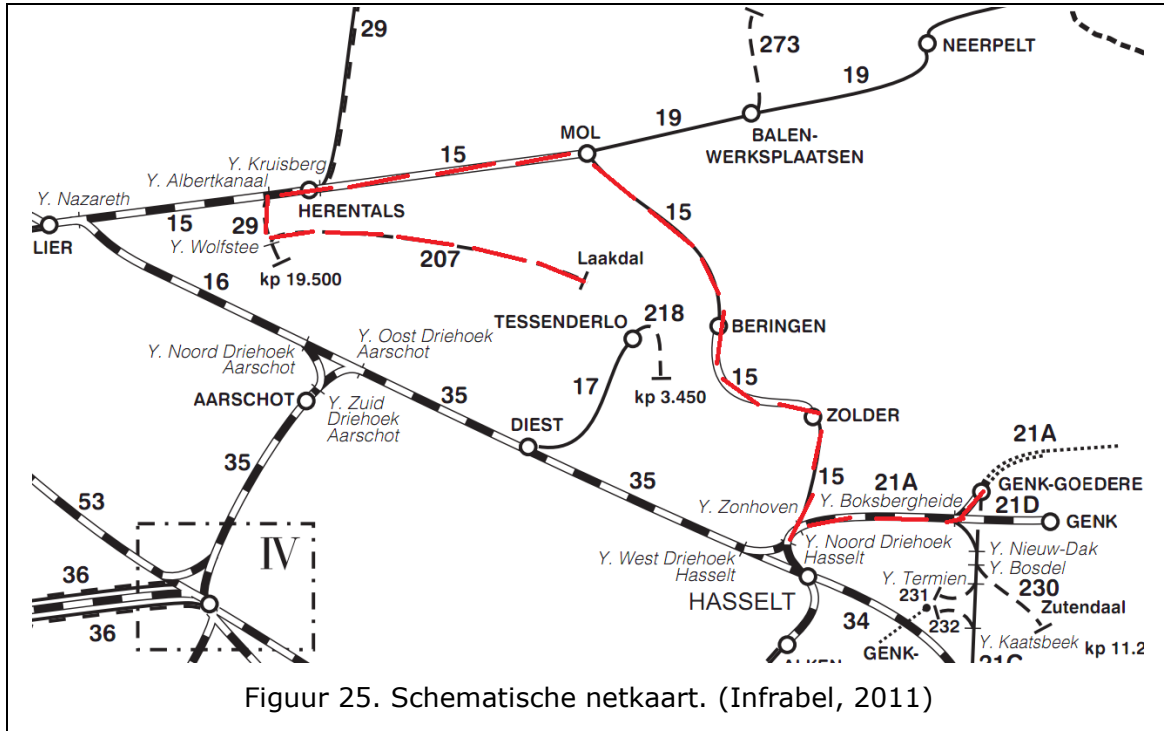
De daggemiddelden in figuur 24 geven het aantal voertuigen weer op de E313 in 2006. Deze tellingen zijn gemeten aan de hand van permanente telposten die ingeplant zijn voor en na elke oprit van de autosnelweg. Aan de hand van lusdetectoren, camera's of radartoestellen kan men zo continu de verkeersintensiteit per rijstrook en per type (zwaar of licht vervoer) meten.

Daggemiddelde 2006 (6u-22u)						
Nr. telpost	Sectie	Kmpt	Werkdag	Zaterdag	Zondag	Weekdag
E313/A13 : Antwerpen - Hasselt - Luik						
19153-19154	Antwerpen-Oost - Wommelgem	2,7	120.000	95.100	84.000	111.300
19157-19158	Wommelgem - Ranst	4,3	102.400	76.900	73.400	94.700
19161-19162	Ranst (A21) - Massenhoven	13,7	65.400	49.100	47.000	60.400
19165-19166	Massenhoven - Herentals-West	21,9	67.100	48.000	47.300	61.500
19169-19170	Herentals-West - Herentals-Industriezone	25,1	68.000	48.400	47.800	62.300
19173-19174	Herentals-Industriezone - Herentals-Oost	29,1	70.300	46.700	46.700	63.500
19177-19178	Herentals-Oost - Geel-West	35,5	60.600	42.700	43.500	55.600
19181-19182	Geel-West - Geel-Oost	42,2	50.700	35.100	36.400	46.400
19185-19186	Geel-Oost - Ham	49,1	53.400	35.500	37.200	48.600
79059-79060	Ham - Tessenderlo	51,7	46.400	32.300	31.100	42.200
79075-79076	Lummen - Hasselt-West	69,1	55.100	38.900	36.200	50.100
79083-79084	Hasselt-West - Hasselt-Zuid	73,0	47.400	33.100	32.900	43.300
79087-79088	Hasselt-Zuid - Hasselt-Oost	75,8	38.900	27.500	28.100	35.700
79091-79092	Hasselt-Oost - Diepenbeek	80,4	40.700	28.000	27.500	37.000
79095-79096	Diepenbeek - Bilzen/Hoeselt	87,0	38.300	27.300	27.200	35.200
79099-79100	Bilzen/Hoeselt - Tongeren	95,5	24.300	16.200	17.700	22.200
79103-79104	Tongeren - Boirs	97,2	20.800	14.500	16.100	19.200

Figuur 24. Verkeerstellingen E313 (Vlaamse Overheid - Agentschap Infrastructuur afdeling Verkeerskunde, 2006)

8.3. Bijlage 3: Spoorwegtraject tussen WCT Laakdal en distributiecentrum Genk

Uit de schematische netkaart van Infrabel blijkt dat de trein het traject uit figuur 25 aflegt.



Volgende afstanden tussen knooppunten zijn eveneens afkomstig van Infrabel.

Tabel 39. Traject WCT – Y.Wolfstee (22,5 km)

207	Y.WOLFSTEE	Y.WOLFSTEE	YWLFS	0
207	GEEL-CONTAINERTERMINAL	GEEL-CONTAINERTERMINAL	LGCT	10700
207	VERB.B.P. CHEMBEL	VERB.B.P. CHEMBEL	VBPCH	14985
207	VERB.IVAREM	VERB.IVAREM	VIVAR	16396
207	VERB.EXXON CHEMICALS	VERB.EXXON CHEMICALS	VEXCH	19555
207	VERB.DE BONTE	VERB.DE BONTE	VDEBT	20155
207	MEERHOUT-W.C.T.	MEERHOUT-W.C.T.	MHWCT	22500

Tabel 40. Traject Y.Wolfstee – Y.Albertkanaal (0,5 km)

29(1)	Y.WOLFSTEE	Y.WOLFSTEE	YWLFS	0
29(1)	Y.ALBERTKANAAL	Y.ALBERTKANAAL	YALBK	500

Tabel 41. Traject Y.Albertkanaal – Y.Zonhoven (63,1 km)

15	Y.ALBERTKANAAL	Y.ALBERTKANAAL	YALBK	26306
15	HERENTALS	HERENTALS	FHT	28106
15	Y.KRUISBERG	Y.KRUISBERG	YKRBG	29006
15	OLEN	OLEN	GOL	34154
15	GEEL	GEEL	LG	40254
15	MOL	MOL	LML	49454
15	BALEN	BALEN	LNE	54139
15	LEOPOLDSBURG	LEOPOLDSBURG	LBG	63039
15	BERINGEN	BERINGEN	MI	66939
15	BERINGEN-MIJN	BERINGEN-MIJN	MIMIJ	68256
15	HEUSDEN	HEUSDEN	MHD	74856
15	ZOLDER-KRUISSPOREN	ZOLDER-KRUISSPOREN	MZD	77756
15	ZOLDER	ZOLDER	MZDST	78356
15	ZONHOVEN-ROOSTER P/U	ZONHOVEN-ROOSTER P/U	ZHVPU	88398
15	Y.ZONHOVEN	Y.ZONHOVEN	YZONH	89398

Tabel 42. Traject Y.Zonhoven – Genk-Goederen (14,3 km)

21A	Y.ZONHOVEN	Y.ZONHOVEN	YZONH	3263
21A	KIEWIT	KIEWIT	KIEWI	4863
21A	BOKRIJK	BOKRIJK	FKY	9163
21A	BOKSBERGHEIDE	BOKSBERGHEIDE	BOKBH	12763
21A	Y.BOKSBERGHEIDE	Y.BOKSBERGHEIDE	YBKHE	13344
21A	GENK-GOEDEREN	GENK-GOEDEREN	FKGG	16513
21A	GENK-GOEDEREN-MUSEUMLIJN	GENK-GOEDEREN-MUSEUMLIJN	FKGGM	17513

Totaal traject: 100,4 km

8.4. Bijlage 4: Traditionele ABC vs. Time-Driven ABC

Figuur 26 toont het verschil tussen het traditionele ABC en Time-Driven ABC. In tegenstelling tot het traditionele ABC worden de kosten van de ingezette middelen bij de Time-Driven ABC uitsluitend toegewezen op basis van de kostenveroorzaker tijd. Figuur 27 vergelijkt de te gebruiken stappen van beide methodes.

INGEZETTE MIDDELEN OVERSLAGPROCES		TABEL 3	
Categorie	Middel	Kostenveroorzaker	
		traditioneel ABC	time-driven ABC
Infrastructuur	gebouwen	oppervlakte (m ²)	tijd (min)
	kaai	oppervlakte (m ²)	tijd (min)
	terminaloppervlakte	oppervlakte (m ²)	tijd (min)
Superstructuur	(portaal)kraan	tijd (min)	tijd (min)
	reach stacker	tijd (min)	tijd (min)
	heftruck	tijd (min)	tijd (min)
Personeel	kraanman	tijd (min)	tijd (min)
	reachstacker chauffeur	tijd (min)	tijd (min)
	heftruck chauffeur	tijd (min)	tijd (min)
	arbeider (bvb. onderhoud)	tijd (min)	tijd (min)
	bediende management	tijd (min)	tijd (min)
Onderhoud	van infrastructuur	oppervlakte (m ²)	tijd (min)
	van superstructuur	tijd (min)	tijd (min)
Energie	brandstof	oppervlakte (m ²) / tijd (min)	tijd (min)
	elektriciteit	oppervlakte (m ²) / tijd (min)	tijd (min)
	water	oppervlakte (m ²) / tijd (min)	tijd (min)
ICT	hardware	tijd (min)	tijd (min)
	software	tijd (min)	tijd (min)
Verzekering	voor infrastructuur	oppervlakte (m ²)	tijd (min)
	voor superstructuur	tijd (min)	tijd (min)
	voor personeel	tijd (min)	tijd (min)
Financiering	rente lening infrastructuur	oppervlakte (m ²)	tijd (min)
	rente lening superstructuur	tijd (min)	tijd (min)
Overige	kantoorbenodigdheden	?	tijd (min)
	telefoon en internet	?	tijd (min)
	schadevergoedingen en boetes	?	tijd (min)
	afvalverwerking	?	tijd (min)
	belastingen	?	tijd (min)

Figuur 26. Verschillen tussen de twee ABC methodes. (Van Breedam & Vannieuwenhuysse, 2007)

STAPPENPLAN TRADITIONELE ABC vs TIME-DRIVEN ABC		TABEL 4
	Traditioneel ABC-model	Time-Driven ABC-model
STAP 0	Bepalen kader kostencalculatieproject	
STAP 1	Analyseren van de activiteiten	
STAP 2	Inventariseren van de kosten van de ingezette middelen	
STAP 3	Definiëren van de kostenveroorzakers	Identificeren van de groepen van middelen die ingezet worden bij de activiteiten
STAP 4	Toerekenen van kosten van de ingezette middelen aan de activiteiten a.d.h.v. de verschillende kostenveroorzakers	Bepalen van de totale praktische capaciteit uitgedrukt in beschikbare tijd
STAP 5	Definiëren van de kostenobjecten	Berekenen van de eenheidskost (= kost per tijdseenheid) voor elke groep van middelen
STAP 6	Definiëren van de activiteitenveroorzakers	Opstellen van de tijdsvergelijkingen door het bepalen van de benodigde tijd per activiteit
STAP 7	Toerekenen van kosten van de activiteiten aan de kostenobjecten	Berekenen van de totale kost per middelen-groep
STAP 8		Toerekenen van de kosten van de middelen-groepen aan de kostenobjecten

Figuur 27. Verschillen tussen de twee ABC methodes. (Van Breedam & Vannieuwenhuyse, 2007)

8.5. Bijlage 5: Berekenen van TLC per transportketen

In dit gedeelte wordt er per keten gestart met het berekenen van het maximale aantal schoendozen per levering, gevolgd door de beschouwing van de transportkosten, bestelkosten, transporttijdskosten, cyclische voorraadkosten, kosten met betrekking tot veiligheidsvoorraad en overslagkosten. Aangezien de berekening van de totale logistieke kosten per transportketen 20 maal volgens hetzelfde principe gebeurt, zal dit enkel geïllustreerd worden voor de laagste bestelfrequentie (28 bestellingen per jaar) van het berekende interval.

8.5.1. Keten 1: via kleine vrachtwagen

Deze transportmodus heeft een capaciteit van 17 m³ of 2,5 ton. Uit voorgaande veronderstellingen volgt dat er per m³ zo'n 50 schoendozen geladen kunnen worden. Dit wil zeggen dat er 850 schoendozen in een kleine vrachtwagen passen. Aan 0.8 kg per schoendoos is het gewicht van de totale levering 680 kg (dus onder de maximale gewichtscapaciteit). Bij het invullen van het aantal eenheden per bestelling zal dus rekening gehouden moeten worden met deze maximale laadcapaciteit van 850 schoendozen.

Transportkosten

Tabel 43. Transportkosten voor kleine vrachtwagen

Transportkosten	Kleine vrachtwagen
Transportkost (per km)	0,50
Snelheid (km/u)	75,00
Afstand (km)	36,30
Transittijd (uur)	0,48
Transittijd (minuten)	29,04
Totaal per bestelling	18,15
Jaartotaal*	2.562,35
*voor trein en schip is dit afhankelijk van het fill level	

Door de transportkost per km te vermenigvuldigen met 36,3 km (afstand) wordt de transportkost per levering gevonden. Dit vermenigvuldigen met het aantal bestellingen per jaar (141) levert het totaal van 2.562 euro op.

Bestelkosten

Tabel 44. Bestelkosten voor kleine vrachtwagen

Bestelkosten	Kleine vrachtwagen
Aantal bestellingen per jaar	141,18
Kost per bestelling	20,00
Jaartotaal	2.823,53

Indien het plaatsen van een bestelling 20 euro bedraagt, kost het plaatsen van 141 bestellingen op een jaar 2.824 euro.

Transporttijdskosten

Tabel 45. Transporttijdskosten voor kleine vrachtwagen

Transporttijdkost	Kleine vrachtwagen
Kosten per eenheid per jaar	4,40
Transittijd (jaren)	5,53E-05
Jaartotaal	29,17

Rekening houdend met een kost per eenheid per jaar van 11% van de waarde van het product, kunnen de transporttijdskosten gevonden worden door het totale aantal producten (120.000) te vermenigvuldigen met u en t.

Cyclische voorraadkosten

Tabel 46. Cyclische voorraadkosten voor kleine vrachtwagen

Cyclische voorraadkosten	Kleine vrachtwagen
Voorraadkosten (per jaar)	2,00
Gemiddelde tijd tussen leveringen (jaar)	0,01
Jaartotaal	850,00

Indien de voorraadkosten worden verondersteld op 2 euro per item per jaar is de cyclische voorraadkost gelijk aan 850 (de helft van het product van w, s en T).

Kosten van veiligheidsvoorraad

Tabel 47. Kosten van veiligheidsvoorraad voor kleine vrachtwagen

Kosten van veiligheidsvoorraad	Kleine vrachtwagen
Voorraadkosten (per jaar)	2,00
Poisson multiplier	1,64
Gemiddelde tijd tussen leveringen (jaar)	0,01
Transittijd (jaren)	5,53E-05
Jaartotaal	96,00

Indien men een serviceniveau van 95% wenst aan te houden, wordt de Poisson multiplier gelijk gesteld aan 1.64. Aan de hand van de formule uit titel 4.7.5 wordt dan de kost met betrekking tot veiligheidsvoorraad gevonden.

Overslagkosten

De overslagkosten bij een kleine vrachtwagen bedragen het dubbel (in- en uitladen) van $1 \cdot (\text{gewicht van een item}) \cdot (\text{aantal items per jaar})$.

Tabel 48. Overslagkosten voor kleine vrachtwagen

Overslag- en laad/loskosten	Kleine vrachtwagen
Bij WCT (per container, in euro)	
Bij terminal Genk (per container, in euro)	
Laad- en loskosten (euro/ton)	1
Totalen van natransport	
Jaartotaal	192,00

8.5.2. Keten 2: via grote vrachtwagen

Transportkosten

Tabel 49. Transportkosten voor grote vrachtwagen

Transportkosten	Grote vrachtwagen
Transportkost (per km)	1,00
Snelheid (km/u)	60,00
Afstand (km)	36,30
Transittijd (uur)	0,61
Transittijd (minuten)	36,30
Totaal per bestelling	36,30
Jaartotaal*	1.016,33
*voor trein en schip is dit afhankelijk van het fill level	

Door de transportkost per km te vermenigvuldigen met 36,3 km (afstand) wordt de transportkost per levering gevonden. Dit vermenigvuldigen met het aantal bestellingen per jaar (28) levert het totaal van 1.016 euro op.

Bestelkosten

Tabel 50. Bestelkosten voor grote vrachtwagen

Bestelkosten	Grote vrachtwagen
Aantal bestellingen per jaar	28,00
Kost per bestelling	20,00
Jaartotaal	559,96

Indien het plaatsen van een bestelling 20 euro bedraagt, kost het plaatsen van 28 bestellingen op een jaar 560 euro.

Transporttijdskosten

Tabel 51. Transporttijdskosten voor grote vrachtwagen

Transporttijdskost	Grote vrachtwagen
Kosten per eenheid per jaar	4,40
Transittijd (jaren)	6,91E-05
Jaartotaal	36,47

Rekening houdend met een kost per eenheid per jaar van 11% van de waarde van het product, kunnen de transporttijdskosten gevonden worden door het totale aantal producten (120.000) te vermenigvuldigen met u en t.

Cyclische voorraadkosten

Tabel 52. Cyclische voorraadkosten voor grote vrachtwagen

Cyclische voorraadkosten	Grote vrachtwagen
Voorraadkosten (per jaar)	2,00
Gemiddelde tijd tussen leveringen (jaar)	0,04
Jaartotaal	4.286,00

Indien de voorraadkosten worden verondersteld op 2 euro per item per jaar is de cyclische voorraadkost gelijk aan 4.286 (de helft van het product van w, s en T).

Kosten van veiligheidsvoorraad

Tabel 53. Kosten van veiligheidsvoorraad voor grote vrachtwagen

Kosten van veiligheidsvoorraad	Grote vrachtwagen
Voorraadkosten (per jaar)	2,00
Poisson multiplier	1,64
Gemiddelde tijd tussen leveringen (jaar)	0,04
Transittijd (jaren)	6,91E-05
Jaartotaal	214,94

Indien men een serviceniveau van 95% wenst aan te houden, wordt de Poisson multiplier gelijk gesteld aan 1.64. Aan de hand van de formule uit titel 4.7.5 wordt dan de kost met betrekking tot veiligheidsvoorraad gevonden.

Overslagkosten

De overslagkosten bij een kleine vrachtwagen bedragen het dubbel (in- en uitladen) van $2 * (\text{gewicht van een item}) * (\text{aantal items per jaar})$.

Tabel 54. Overslagkosten voor grote vrachtwagen

Overslag- en laad/loskosten	Grote vrachtwagen
Bij WCT (per container, in euro)	
Bij terminal Genk (per container, in euro)	
Laad- en loskosten (euro/ton)	2
Totalen van natransport	
Jaartotaal	384,00

8.5.3. Keten 3: via schip, natransport via grote vrachtwagen

Transportkosten

Tabel 55. Transportkosten voor schip

Transportkosten	Schip
Transportkost (per km)	9,00
Snelheid (km/u)	7,00
Afstand (km)	37,80
Transittijd (uur)	5,40
Transittijd (minuten)	324,00
Totaal per bestelling	340,20
Jaartotaal*	1.920,41
*voor trein en schip is dit afhankelijk van het fill level	

Natransport schip

1,00
37,00
11,00
0,30
17,84
11,00
307,98

Door de transportkost per km te vermenigvuldigen met 37,8 km (afstand) wordt de transportkost per levering gevonden. Dit vermenigvuldigen met het aantal bestellingen per jaar (28) levert het totaal van 1.920,41 euro op. Het berekenen van de transportkosten met betrekking tot natransport gebeurt op een analoge manier.

Bestelkosten

Tabel 56. Bestelkosten voor schip

Bestelkosten	Schip
Aantal bestellingen per jaar	28,00
Kost per bestelling	20,00
Jaartotaal	559,96

Indien het plaatsen van een bestelling 20 euro bedraagt, kost het plaatsen van 28 bestellingen op een jaar 560 euro.

Transporttijdskosten

Tabel 57. Transporttijdskosten voor schip

Transporttijdkost	Schip
Kosten per eenheid per jaar	4,40
Transittijd (jaren)	6,16E-04
Jaartotaal	325,48
Natransport schip	
4,40	
3,39E-05	
17,92	

Rekening houdend met een kost per eenheid per jaar van 11% van de waarde van het product, kunnen de transporttijdskosten gevonden worden door het totale aantal producten (120.000) te vermenigvuldigen met u en t.

Cyclische voorraadkosten

Tabel 58. Cyclische voorraadkosten voor schip

Cyclische voorraadkosten	Schip
Voorraadkosten (per jaar)	2,00
Gemiddelde tijd tussen leveringen (jaar)	0,04
Jaartotaal	4.286,00

Indien de voorraadkosten worden verondersteld op 2 euro per item per jaar is de cyclische voorraadkost gelijk aan 4.286 (de helft van het product van w, s en T).

Kosten van veiligheidsvoorraad

Tabel 59. Kosten van veiligheidsvoorraad voor schip

Kosten van veiligheidsvoorraad	Schip
Voorraadkosten (per jaar)	2,00
Poisson multiplier	1,64
Gemiddelde tijd tussen leveringen (jaar)	0,04
Transittijd (jaren)	6,16E-04
Jaartotaal	216,58

Indien men een serviceniveau van 95% wenst aan te houden, wordt de Poisson multiplier gelijk gesteld aan 1.64. Aan de hand van de formule uit titel 4.7.5 wordt dan de kost met betrekking tot veiligheidsvoorraad gevonden.

Overslagkosten

Tabel 60. Overslagkosten voor schip

Overslag- en laad/loskosten	Schip
Bij WCT (per container, in euro)	31,03
Bij terminal Genk (per container, in euro)	31,03
Laad- en loskosten (euro/ton)	
Totalen van natransport	325,90
Jaartotaal	3.801,03

De overslagkosten hebben betrekking op het laden en lossen van de containers en het natransport. Het laden en lossen kost tweemaal 31,03 *maal* het aantal containers *maal* het aantal bestellingen. Hierbij worden alle kosten van natransport opgeteld (transportkost en transporttijd kost), om zo aan 3.801 euro te komen.

8.5.4. Keten 4: via trein, natransport via grote vrachtwagen

Transportkosten

Tabel 61. Transportkosten voor trein

Transportkosten	Trein
Transportkost (per km)	15,00
Snelheid (km/u)	30,00
Afstand (km)	100,40
Transittijd (uur)	3,35
Transittijd (minuten)	200,80
Totaal per bestelling	1.506,00
Jaartotaal*	3.400,51
*voor trein en schip is dit afhankelijk van het fill level	

Natransport trein

1,00
37,00
2,00
0,05
3,24
2,00
56,00

Door de transportkost per km te vermenigvuldigen met 100,4 km (afstand) wordt de transportkost per levering gevonden. Dit vermenigvuldigen met het aantal bestellingen per jaar (28) levert het totaal van 3.401 euro op. Het berekenen van de transportkosten met betrekking tot natransport gebeurt op een analoge manier.

Bestelkosten

Tabel 62. Bestelkosten voor trein

Bestelkosten	Trein
Aantal bestellingen per jaar	28,00
Kost per bestelling	20,00
Jaartotaal	559,96

Indien het plaatsen van een bestelling 20 euro bedraagt, kost het plaatsen van 28 bestellingen op een jaar 560 euro.

Transporttijdkosten

Tabel 63. Transporttijdkosten voor trein

Transporttijdkost	Trein
Kosten per eenheid per jaar	4,40
Transittijd (jaren)	3,82E-04
Jaartotaal	201,72
Natransport trein	
4,40	
6,17E-06	
3,26	

Rekening houdend met een kost per eenheid per jaar van 11% van de waarde van het product, kunnen de transporttijdkosten gevonden worden door het totale aantal producten (120.000) te vermenigvuldigen met u en t.

Cyclische voorraadkosten

Tabel 64. Cyclische voorraadkosten voor trein

Cyclische voorraadkosten	Trein
Voorraadkosten (per jaar)	2,00
Gemiddelde tijd tussen leveringen (jaar)	0,04
Jaartotaal	4.286,00

Indien de voorraadkosten worden verondersteld op 2 euro per item per jaar is de cyclische voorraadkost gelijk aan 4.286 (de helft van het product van w, s en T).

Kosten van veiligheidsvoorraad

Tabel 65. Kosten van veiligheidsvoorraad voor trein

Kosten van veiligheidsvoorraad	Trein
Voorraadkosten (per jaar)	2,00
Poisson multiplier	1,64
Gemiddelde tijd tussen leveringen (jaar)	0,04
Transittijd (jaren)	3,82E-04
Jaartotaal	215,88

Indien men een serviceniveau van 95% wenst aan te houden, wordt de Poisson multiplier gelijk gesteld aan 1.64. Aan de hand van de formule uit titel 4.7.5 wordt dan de kost met betrekking tot veiligheidsvoorraad gevonden.

Overslagkosten

Tabel 66. Overslagkosten voor trein

Overslag- en laad/loskosten	Trein
Bij WCT (per container, in euro)	31,03
Bij terminal Genk (per container, in euro)	31,03
Laad- en loskosten (euro/ton)	
Totalen van natransport	59,25
Jaartotaal	3.534,38

De overslagkosten hebben betrekking op het laden en lossen van de containers en het natransport. Het laden en lossen kost tweemaal 31,03 *maal* het aantal containers *maal* het aantal bestellingen. Hierbij worden alle kosten van natransport opgeteld (transportkost en transporttijdskost), om zo aan 3.534 euro te komen.

Auteursrechtelijke overeenkomst

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

Invloed van logistieke beslissingen op transportkeuze

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

Jaar: **2011**

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,

Kerkhofs, Frédéric

Datum: **30/05/2011**