

Voorwoord

Deze masterproef vormt het sluitstuk van de opleiding handelsingenieur, master operationeel management en logistiek met optie finance aan de Universiteit Hasselt met als titel: "Rittenplanning met ladingsbeperkingen". Wegens de beperkte voorkennis over dit onderwerp was het schrijven van deze masterproef een grote uitdaging.

Graag wil ik dit voorwoord gebruiken om iedereen te bedanken die heeft bijgedragen tot deze masterproef. Als eerste bedank ik graag mijn promotor dr. Kris Braekers en mijn copromotor prof. dr. An Caris voor de gegeven begeleiding en de kritische reflecties. Verder bedank ik graag dhr. Jos Martens en dhr. Johan Aegten voor de begeleiding van mijn praktijkprobleem binnen Aegten NV en het verstrekken van de informatie omtrent de rittenplanning. Hierdoor heb ik praktijkervaring opgedaan die mijn masterproef praktijkgericht gemaakt heeft. Tenslotte bedank ik mijn broer Martijn Vanherk voor zijn steun en advies.

Samenvatting

Verschillende oorzaken zorgen ervoor dat rittenplanning steeds meer aandacht krijgt. Zo staan vrachtwagens steeds langer in de file en zijn de benzineprijzen de afgelopen jaren sterk gestegen, zodat de transportkosten stijgen. Verder heeft de economische crisis in vele bedrijven ervoor gezorgd dat kostenbesparingen doorgevoerd moeten worden.

Een rittenplanning geeft een aantal ritten weer waarin een bepaald aantal klanten bezocht worden. Een rittenplanning heeft verschillende algemene rittenplanningsbeperkingen. Deze beschrijven algemene kenmerken van de rittenplanning, bijvoorbeeld de tijdsvensters bij klanten. Deze beperking beschrijft de voorkeur van de klant met betrekking tot de levering van de gevraagde goederen. Om een goede relatie te onderhouden met de klanten, moet voldaan worden aan deze beperking. De algemene rittenplanningsbeperkingen worden als eerste besproken in de literatuurstudie.

Naast de algemene rittenplanningsbeperkingen worden verschillende ladingsbeperkingen beschreven. Deze beperkingen geven de problemen die voorkomen bij onder andere het in- en uitladen van de container weer. Een voorbeeld van een ladingsbeperking schuilt in de beperkingen van de container. Deze ladingsbeperking geeft de afmetingen van de container en de gewichtsbeperkingen van de vrachtwagen aan. De som van de gevraagde goederen die in één route geleverd worden door de klanten mag dus niet groter zijn dan deze massa. Een ander voorbeeld van een ladingsbeperking is de oriëntatie van de goederen. Zo is het mogelijk dat goederen enkel langs de voor- en achterkant opgenomen kunnen worden, waardoor ze slechts in één richting in de container kunnen staan. Een andere ladingsbeperking omschrijft de LIFO filosofie. Wanneer deze beperking van toepassing is moet bij het inladen van de container rekening gehouden worden met de volgorde waarin de klanten bezocht worden. Zo moeten de goederen van de eerste klant als eerste kunnen worden uitgeladen, zonder de goederen van een andere klant te moeten uitladen.

Zowel elke relevante algemene beperking als elke ladingsbeperking moet opgenomen worden in de rittenplanning om de rittenplanning zo goed mogelijk te kunnen opstellen. In sommige situaties is het echter mogelijk dat bepaalde (ladings)beperkingen wegvallen. Wanneer bij elke klant enkel goederen geleverd worden en geen goederen terug worden meegenomen, bijvoorbeeld een pallet waarop de goederen gestapeld worden, valt de beperking backhaul weg. Deze beperking moet vervolgens niet meer in rekening worden gebracht in de rittenplanning. Verder is het ook mogelijk dat bepaalde beperkingen belangrijker zijn dan andere. In het praktijkgedeelte van deze masterproef wordt aangegeven dat de oriëntatie van de goederen als de belangrijkste ladingsbeperking gezien wordt. Om te zorgen dat altijd aan deze beperking voldaan wordt, kunnen andere beperkingen geschonden worden.

Vervolgens worden verschillende rittenplanningsproblemen met ladingsbeperkingen beschreven. Hierbij wordt een opsplitsing gemaakt tussen twee problemen, namelijk het

handelsreizigersprobleem (traveling salesman problem) en het rittenplanningsprobleem (vehicle routing problem). Het traveling salesman problem omschrijft een handelsreiziger die naar een aantal steden reist. De tijd tussen de steden is gekend. De handelsreiziger probeert, voor hij terugkeert naar zijn vertrekpunt, de totale levertijd te beperken. Het vehicle routing problem is een uitbreiding op dit probleem, waarbij de vraag van de klanten en een vloot van voertuigen worden ingevoerd. Voor beide problemen worden verschillende uitbreidingen beschreven. In deze uitbreidingen worden verschillende extra (ladings)beperkingen opgenomen. Alle uitbreidingen voor elk probleem worden omschreven in een samenvattende tabel samen met zijn relevante (ladings)beperkingen. Bij het beschrijven van deze problemen wordt, waar mogelijk, de toegepaste methode weergegeven. De methodes die het meest worden toegepast in de literatuur worden kort besproken. De literatuurstudie wordt afgesloten met enkele andere rittenplanningsproblemen met ladingsbeperkingen die geen uitbreiding zijn op bovenstaande twee problemen. Ook deze problemen worden samen met zijn relevante (ladings)beperkingen weergegeven in een samenvattende tabel.

Voor het praktijkgedeelte van deze masterproef worden gegevens over de rittenplanning van Aegten NV uit Meeuwen-Gruitrode gebruikt. Hiervoor werd intensief samengewerkt met de planner en de kwaliteitsmanager. Dit bedrijf verkoopt verschillende veevoeders, meststoffen, zouten, sproeistoffen, ... Het bedrijf heeft verschillende laadeenheden om zijn producten te leveren. Alle producten worden in een samenvattende tabel omschreven met zijn relevante laadeenheden. Vervolgens wordt omschreven welke producten met welk voertuig in de praktijk worden vervoerd. Zo kunnen sommige producten met verschillende transporttypes getransporteerd worden. Dit is bijvoorbeeld het geval voor de mengelingen meststoffen die via zakcontainers of de bulkwagen getransporteerd kunnen worden.

Na het beschrijven van het bedrijf en zijn producten, wordt uitgelegd hoe de rittenplanning gebeurt en wordt deze vergeleken met de literatuur. Hierbij wordt gekeken welke algemene beperkingen en ladingsbeperkingen relevant zijn voor welk transporttype en op welke manier ze in rekening worden gebracht in de rittenplanning. In deze sectie wordt ook de vloot beschreven die Aegten NV ter beschikking heeft. Hierbij wordt aangegeven hoe de goederen geladen en gelost worden van de verschillende types voertuigen.

Vervolgens worden de verschillende transporttypes vergeleken met de problemen uit de literatuur. Zo wordt gekeken bij welk probleem elk transporttype het dichtst aansluit, waarbij de gelijkenissen en de verschillen met dit probleem worden verklaard. Voor de goederen die met de bulkwagen vervoerd worden, de mengelingen meststoffen, wordt deze stap uitgebreider uitgevoerd dan bij de andere transporttypes. De volgende stap in deze masterproef werkt namelijk verder met dit transporttype. Voor het transport van de bulkgoederen wordt het praktijkprobleem vergeleken met elke relevante paper. De methode uit de meest relevante paper wordt toegepast op het praktijkprobleem. De methode uit deze paper is een local search algoritme.

Voor het toepassen van dit algoritme wordt de rittenplanning van één week gebruikt, waarin achttien klanten bezocht worden door de bulkwagen in zeven verschillende ritten. Aegten NV

veronderstelt dat de kortste af te leggen afstand de laagste totale tijd impliceert. Hun doelstelling is dus om een rittenplanning te vinden met een minimale afstand. Twee verschillende modellen worden opgesteld. Het ene model neemt de LIFO filosofie wel op als ladingsbeperking, het andere model niet. Om het algoritme toe te kunnen passen, moet een beginoplossing aanwezig zijn. Hiervoor wordt de originele rittenplanning van Aegten NV gebruikt. Het algoritme bestaat uit drie stappen. In de eerste stap wordt gekeken of de volgorde van de klanten in elke route afzonderlijk zorgt voor de laagste totale afstand. Is dit niet het geval, worden klanten van plaats verwisseld. Zo worden één of meerdere klanten ofwel eerder ofwel later bezocht. Voor beide modellen wordt dezelfde rittenplanning bekomen met een verbetering van 22,7 kilometer. In stap twee wordt één of meerdere klanten uit een rit verwijderd en toegevoegd aan een andere rit. Hierbij moet rekening worden gehouden met de capaciteit van de bulkwagen. Een verbetering doet zich voor wanneer de som van de twee nieuwe ritten kleiner is dan de som van de twee oorspronkelijke ritten. In deze stap wordt voor beide modellen een verbetering van 88,1 kilometer gerealiseerd. De rittenplanning bestaat nog slechts uit zes routes. Opnieuw is in de nieuwe rittenplanning geen verschil aanwezig tussen de twee modellen. In stap drie worden tot slot één of meerdere klanten uit één route verwisseld met één of meerdere klanten uit een andere route. De klanten wisselen dus van route. De verwisseling is enkel mogelijk als de massa van beide ritten kleiner is dan de toegestane dertig ton. Wanneer dit het geval is, wordt gekeken of de verwisseling een verbetering met zich meebrengt. Deze verwisseling houdt een verbetering in wanneer de som van de afstanden van beide nieuwe routes kleiner is dan de som van de afstanden van de oude routes. In deze stap wordt geen verbetering gerealiseerd, zodat de totale verbetering neerkomt op 110,8 kilometer. Dit is een daling van 12,08% in de totale af te leggen afstand. Zo is de verbeterde rittenplanning hetzelfde voor beide modellen.

Tot slot worden de beperkingen van dit algoritme besproken. Deze geven aan waarom het algoritme niet altijd een optimale oplossing geeft. Verder worden conclusies geformuleerd. Zo blijkt dat een rittenplanning rekening moet houden met zowel verschillende algemene beperkingen als ladingsbeperkingen, waarbij bepaalde beperkingen verzwakt kunnen worden ten voordele van andere beperkingen. Bij het vergelijken van de verschillende transporttypes uit het praktijkgedeelte met de rittenplanningsproblemen uit de literatuur is niet altijd een convergentie aanwezig. De verschillen uit zich in het opnemen van één of meerdere (ladings)beperkingen. Tot slot worden enkele mogelijkheden aangereikt voor verder onderzoek.

Inhoudstabel

Voorwoord	i
Samenvatting	iii
Inhoudstabel	vii
Lijst van afbeeldingen	viii
Lijst van tabellen	ix
Lijst met afkortingen	x
1 Probleemstelling	1
2 Onderzoeksopzet en –methodologie	3
3 Literatuurstudie	5
3.2 Ladingsbeperkingen	7
3.3 Rittenplanningsproblemen met ladingsbeperkingen	10
3.3.1 Pickup and delivery problem	10
3.3.2 Vehicle routing problem	15
3.3.3 Andere rittenplanningsproblemen met ladingsbeperkingen	20
4 Praktijkstudie	23
4.1 Rittenplanning bij Aegten NV	24
4.2 Verschillende rittenplanningsbeperkingen	26
4.2.1 Algemene rittenplanningsbeperkingen	26
4.2.2 Ladingsbeperkingen binnen de rittenplanning	30
4.3 Vergelijking met problemen uit de literatuur	33
4.4 Analyse rittenplanning bulkwagen	35
4.4.1 Local search algoritme	37
4.4.2 Stap 1	39
4.4.3 Stap 2	41
4.4.4 Stap 3	44
4.4.5 Nieuwe routes	46
5 Algemene conclusie	49
Bronnenlijst	53
Bijlage	59

Lijst van afbeeldingen

Figuur 1: Voorbeeld DTSPMS (Lusby et al., 2010).....	14
Figuur 2: Voorbeeld VCRP met sequential/rear loading (Gendreau et al., 2007).....	17
Figuur 3: Klanten Aegten NV.....	37

Lijst van tabellen

Tabel 1: Pickup and delivery problemen met ladingsbeperkingen	11
Tabel 2: Vehicle routing problemen met ladingsbeperkingen	15
Tabel 3: Andere rittenplanningsproblemen met ladingsbeperkingen	20
Tabel 4: Laadeenheden met relevante producten.....	23
Tabel 5: Laadeenheden met relevante transporttypes	27
Tabel 6: Verschillende transporttypes met ladingsbeperkingen	33
Tabel 7: Vergelijking bulkwagen - relevante literatuur.....	34
Tabel 8: Overzicht oorspronkelijke rittenplanning	36
Tabel 9: Stap 1	40
Tabel 10: Vernieuwde rittenplanning	40
Tabel 11: Stap 2 (zonder LIFO)	42
Tabel 12: Mogelijke verbeteringen	43
Tabel 13: Vernieuwde rittenplanning	43
Tabel 14: Stap 3 (zonder LIFO)	45
Tabel 15: Nieuwe rittenplanning	47

Lijst met afkortingen

ACTP: auto-carrier transportation problem

CVRP: capacitated vehicle routing problem

DTSPMS: double traveling salesman problem with multiple stacks

FIFO: first in first out

LIFO: Last in first out

MC-VRP: multi-compartment vehicle routing problem

MPSRP: multi-period petrol station replenishment problem

MP-VRP: Multi-pile vehicle routing problem

MTSPPD-LD: multiple pickup and delivery traveling salesman problem with LIFO loading and distance constraints

PDPTW: pickup and delivery problem with time windows

PSRPTW: petrol station replenishment problem with time windows

SD-VRP: side-dependent vehicle routing problem

TSP: traveling salesman problem

TSPPD: traveling salesman problem with pickup and delivery

TSPPDF: traveling salesman problem with and delivery with FIFO loading constraints

TSPPDHC: traveling salesman problem with pickup and delivery and handling costs

TSPPDL: traveling salesman problem with and delivery with LIFO loading constraints

TSP-ATWPC: traveling salesman problem with allocation, time window and precedence constraints

VRP: vehicle routing problem

2L-CVRP: two-dimensional loading capacitated vehicle routing problem

2L-HFVRP: heterogeneous fleet vehicle routing with 2-dimensional constraints

2L-PDVRP: pickup and delivery vehicle routing problem with two-dimensional loading constraints

3L-CVRP: three-dimensional loading capacitated vehicle routing problem

1 Probleemstelling

Vrachtwagens staan steeds langer in de file, waardoor de kosten van goederentransport stijgen. Ook de huidige economische situatie dient in rekening gebracht te worden, waarin kostenbesparingen belangrijker geworden zijn ten tijde van een economische crisis. Verder is sinds enkele jaren een stijgende trend aanwezig in de bezineprijzen. Ook dit zorgt voor stijgende transportkosten voor een bedrijf. Deze elementen zorgen samen voor een stijgende belangrijkheid van een goede rittenplanning. Het niet aanpakken van dit probleem kan zorgen voor een slechtere relatie met de klanten door een mindere stiptheid, wat bedrijven dagelijks geld kan kosten.

Een rittenplanning geeft weer hoe de planning van meerdere ritten gebeurt. Een slechte rittenplanning zorgt voor meer af te leggen kilometers of voor een langere reistijd. Deze langere reistijd kan bijvoorbeeld ontstaan door het stilstaan in een file, wat de transportkosten doet stijgen. Het plannen van één enkele rit wordt het traveling salesman problem genoemd. Dit probleem beschrijft het leveren van één vracht door een vrachtwagen aan meerdere klanten. De totale levertijd moet hierbij zo laag mogelijk worden gehouden. Bij deze rittenplanning moeten verschillende beperkingen in rekening genomen worden. Een rittenplanning met ladingsbeperkingen kan namelijk gezien worden als een combinatie van twee problemen, enerzijds de rittenplanning en anderzijds de verschillende (ladings)beperkingen. Alle beperkingen zijn zeer belangrijk binnen de rittenplanning, omdat ze de rittenplanning fel kunnen veranderen.

De beperkingen kunnen opgesplitst worden in twee delen. De algemene beperkingen zijn de eerste categorie. Deze beperkingen worden gezien als algemene beperkingen van de rittenplanning, bijvoorbeeld de rij- en rusturen van de chauffeur. De chauffeur mag bijvoorbeeld niet een hele dag rijden zonder een pauze te nemen. Een ander voorbeeld heeft betrekking op het vertrek- en eindpunt van de vrachtwagen, welke altijd dezelfde moeten zijn. De tweede categorie omschrijft de ladingsbeperkingen. Deze beperkingen handelen over het in- en uitladen van de container. Een voorbeeld handelt over de totale toegestane massa van de vrachtwagen. Een andere ladingsbeperking omschrijft het LIFO principe. Wanneer deze beperking van toepassing is moet bij het inladen van de container rekening gehouden worden met de volgorde waarin de klanten bezocht worden. Zo moeten de goederen van de eerste klant als eerste kunnen worden uitgeladen, zonder de goederen van een andere klant te moeten uitladen. Goederen die meerdere keren in- en uitgeladen worden, zorgen voor tijdsverlies van één of meerdere personeelsleden. Dit tijdsverlies zorgt voor extra kosten voor een bedrijf.

In de voorgaande alinea's werden enkele voorbeelden van (ladings)beperkingen gegeven. Deze hebben echter niet altijd dezelfde belangrijkheid of in bepaalde situaties kunnen één of meerdere beperkingen wegvallen. Zo komt het bijvoorbeeld voor dat een container slechts gevuld wordt met één product of enkel met niet-breekbare producten. Het probleem is dan veel eenvoudiger (Iori & Martello, 2010).

Een rittenplanning met ladingsbeperkingen heeft niet enkel betrekking op hele grote logistieke bedrijven, maar op elk bedrijf dat te maken heeft met het leveren aan meerdere klanten van goederen via een vrachtwagen. Kleinere bedrijven besteden hun transport vaak uit aan grotere transportbedrijven die gespecialiseerd zijn in rittenplanning en meer kennis hebben over de beperkingen. Zo kan het bedrijf zich bezig houden met zijn core business, zonder zich zorgen te maken over het transport. De grote transportbedrijven hebben ook meer ervaring en weten beter hoe ze met de beperkingen of andere problemen moeten omgaan.

2 Onderzoekopzet en –methodologie

Deze masterproef is opgesplitst in twee grote delen: de literatuurstudie en het praktijkprobleem. In de literatuurstudie wordt enerzijds ingegaan op algemene beperkingen en ladingsbeperkingen van een rittenplanning. Anderszijds wordt in de literatuurstudie verder gekeken naar verschillende rittenplanningsproblemen met ladingsbeperkingen. In het praktijkgedeelte wordt eerst de rittenplanning van Aegten NV beschreven. Na deze beschrijving wordt één specifiek transporttype gekozen, het transport van bulkgoederen, waarvan de rittenplanning van één week geanalyseerd wordt aan de hand van het local search algoritme.

De centrale onderzoeksvraag van deze masterproef luidt als volgt: “hoe kan een efficiënte rittenplanning bekomen worden, rekening houdend met verschillende types ladingsbeperkingen?”. Deze onderzoeksvraag wordt opgedeeld in drie verschillende deelvragen.

In de eerste deelvraag zal het begrip rittenplanning met ladingsbeperkingen worden uitgelegd. Hierbij worden eerst de begrippen traveling salesman problem en vehicle routing problem besproken, omdat de meeste rittenplanningsproblemen zich baseren op één van deze problemen. Vervolgens komen de verschillende algemene beperkingen en de ladingsbeperkingen hier aan bod.

Onder de tweede deelvraag worden verschillende rittenplanningsproblemen met ladingsbeperkingen beschreven. Als eerste worden de uitbreidingen van het traveling salesman problem omschreven, om vervolgens de uitbreidingen van het vehicle routing problem te beschrijven. Tot slot komen enkele problemen aan bod die losstaan van deze twee begrippen. Bij elk probleem wordt de toegepaste oplossingsmethode weergegeven. Wanneer deze methode vaak voorkomt in de literatuur, wordt deze methode verder toegelicht.

Het praktijkprobleem van deze thesis wordt uitgewerkt onder deelvraag drie. Tijdens alle stappen in het praktijkprobleem werd nauw samengewerkt met de kwaliteitsmanager en de planner van Aegten NV uit Meeuwen-Gruitrode. Onder het praktijkprobleem wordt eerst de rittenplanning beschreven en wordt gekeken welke (ladings)beperkingen het bedrijf heeft binnen de rittenplanning, waarbij gekeken wordt of bepaalde beperkingen als belangrijker worden gezien of niet. Vervolgens worden verschillende transporttypes vergeleken met de problemen uit de literatuur. Tot slot wordt de rittenplanning van één week van de bulkwagen geanalyseerd door zelf een methode erop toe te passen. Hiervoor wordt het local search algoritme gekozen, aangezien deze methode wordt toegepast op één paper die handelt over het meest overeenkomstig probleem uit de literatuur. De afstanden tussen de verschillende klanten worden opgesteld aan de hand van Google maps.

3 Literatuurstudie

In deze literatuurstudie wordt een antwoord gezocht op verschillende deelvragen. Vooreerst komen de verschillende beperkingen die opgenomen worden binnen een rittenplanning aan bod bij deelvraag één, waarbij een onderscheid wordt gemaakt tussen de gewone beperkingen en de ladingsbeperkingen. Vervolgens worden verschillende problemen besproken, uitbreidingen van het vehicle routing problem en het traveling salesman problem. Deze deelvraag wordt afgesloten met enkele andere relevante rittenplanningsproblemen met ladingsbeperkingen.

Het doel van het opstellen van een rittenplanning is om de totale transportkosten of de af te leggen kilometers te minimaliseren. Een goede rittenplanning en de implementatie ervan beïnvloedt de transportkosten van een bedrijf (Bortfeldt et al., 2013). Voor elke vrachtwagen wordt verondersteld dat een optimale route bestaat, die kan gevonden worden met een bepaalde methode (Gendreau et al., 2006). Bij de rittenplanning moet rekening gehouden worden met een aantal (ladings)beperkingen.

Vele logistieke problemen en processen, zoals een rittenplanning met ladingsbeperkingen, baseren zich op het handelsreizigersprobleem (traveling salesman problem) ofwel op het rittenplanningsprobleem (vehicle routing problem). Het plannen van één rit wordt het traveling salesman problem genoemd en wordt gezien als één van de meest bestudeerde problemen binnen combinatorische optimalisatie (het zoeken van een optimale oplossing uit een beperkt aantal objecten) (Cheang et al., 2012). Dit probleem omvat een handelsreiziger die naar een aantal steden reist. De tijd tussen alle steden is hierbij gekend. De handelsreiziger probeert, voor hij terugkeert naar zijn vertrekpunt, de totale levertijd te beperken. De totale levertijd kan in de rittenplanning ook vervangen worden door de totale kosten of de totale afgelegde afstand van het transport. Het doel van een traveling salesman problem is dus het zoeken van een rittenplanning om alle klanten te bereiken en vervolgens terug aan te komen bij het beginpunt tegen een zo laag mogelijke kost (Hillier & Lieberman, 2010; Gendreau et al., 1992). De verkoper wordt in deze thesis gezien als een vrachtwagen die bij het leveren van één vracht verschillende klanten moet bereiken. De capaciteit van de vrachtwagen wordt hierbij niet in rekening gebracht. Alle uitbreidingen van het traveling salesman problem zijn in deze masterproef pickup and delivery problemen. De vrachtwagen moet voor elke klant een locatie bezoeken waar de goederen opgepikt worden en een locatie waar de goederen geleverd worden.

Het vehicle routing problem beschrijft een optimalisatieprobleem van een vloot van vrachtwagens die een bepaald aantal geografisch verspreide klanten moeten bedienen. Hierbij kunnen verschillende opslagplaatsen gebruikt worden. Het doel van een vehicle routing problem is om de beschikbare vloot van vrachtwagens efficiënt in te zetten om aan de operationele verwachtingen van de klanten te kunnen voldoen, zijnde het leveren van de gevraagde goederen. Voor elke vrachtwagen moet dus een aparte route opgesteld worden.

Het standaard vehicle routing problem is een uitbreiding op het traveling salesman problem. De vraag van de klanten wordt ingevoerd samen met een vloot van voertuigen. Deze voertuigen hebben allemaal een beperkte capaciteit (Reed et al., 2014).

Als eerste komen de algemene rittenplanningsbeperkingen aan bod. Vervolgens worden de ladingsbeperkingen besproken, om tot slot over te gaan naar de uitbreidingen op het handelsreizigersprobleem en het rittenplanningsprobleem.

3.1 Algemene rittenplanningsbeperkingen

Vertrek- en startpunt

Elke vrachtwagen dient op dezelfde plaats te vertrekken als aan te komen. Dit punt is meestal de locatie van het bedrijf (Leung et al., 2013). De vrachtwagen vertrekt dus bij het bedrijf, bezoekt een aantal klanten en keert daarna terug naar het bedrijf.

Één route per vrachtwagen

Elke vrachtwagen mag binnen de rittenplanning maximaal één route afleggen. De route wordt beëindigd wanneer de vrachtwagen terug toekomt bij het bedrijf. (Iori & Martello, 2010; Leung et al., 2013). Sommige onderzoekers nemen hierbij de extra beperking op dat elke vrachtwagen gebruikt moet worden (Alba et al., 2011; Carrabs et al., 2007; Iori & Martello, 2007; Leung et al.; Tricoire et al., 2011).

Maximale duur van de route

De tijdsduur van de route van elke vrachtwagen mag niet boven een bepaald maximum gaan. Deze mag in Europa niet langer duren dan negen uur, met uitzondering van twee maal per week tien uur. Dit hangt samen met de rij- en rusttijden van de vrachtwagenchauffeur (Jun et al., 2012).

Deze beperking kan zo worden uitgebreid dat elke vrachtwagen een maximale opgelegde tijd heeft om zijn route te voltooien. Deze tijd wordt opgelegd door het transportbedrijf. De vrachtwagen dient bijvoorbeeld in shifts mee te draaien, waardoor de chauffeur bijvoorbeeld maximaal acht uren mag rijden (Iori en Martello, 2010).

Heterogene vrachtwagens

De vloot bestaat uit vrachtwagens met allemaal verschillende kenmerken. Deze kenmerken houden bijvoorbeeld verband met het volume van de container (Chao et al., 1999; Leung et al., 2013). Deze beperking komt in de literatuur echter niet vaak voor.

Één vrachtwagen per klant

Een klant mag door maximaal één vrachtwagen bediend worden. De goederen van een klant dienen hierdoor in één vrachtwagen gestapeld te worden. Het is dus niet mogelijk dat deze goederen door verschillende vrachtwagens geleverd worden (door zogenaamde “gedeelde leveringen”). Gedeelde leveringen zijn enkel mogelijk wanneer de goederen niet door één vrachtwagen geleverd kunnen worden, door bijvoorbeeld bepaalde capaciteitsbeperkingen van de vrachtwagen (Clautiaux et al., 2008; Malapert et al., 2008).

Tijdsvensters bij klanten

Iori en Martello (2010) geven weer dat elke klant een bepaalde voorkeur heeft met betrekking tot de levering van hun gevraagde goederen. De leverancier dient te proberen om binnen dit tijdsinterval de levering te laten plaatsvinden om zo de klanten tevreden te stellen en te houden (Bortfeldt et al., 2013; Fukasawa et al., 2004; Moura, 2008).

Taillard et al. (1997) breiden de tijdsvensters van de klanten verder uit door te spreken over ‘soft time windows’. Bij deze uitbreiding is het wel mogelijk om buiten de tijdsvensters van de klanten te leveren, maar wanneer dit gebeurt wordt een zogenaamde strafwaarde, een extra kost, opgenomen in de rittenplanning.

Xu et al. (2002) beschrijven niet enkel de tijdsvensters bij de klanten, maar ook bij de leveranciers. Hier moeten de goederen onderweg opgeladen worden binnen een bepaalde voorkeur met betrekking tot de levering van de op te halen goederen (Fagerholt et al., 2000).

Backhaul

Bij bepaalde klanten worden niet enkel goederen afgeleverd, maar worden ook bepaalde goederen terug meegenomen. Een voorbeeld hiervan zijn paletten waarop de goederen gestapeld en afgeleverd worden. De goederen die geleverd worden moeten eerst gelost worden, voordat goederen terug ingeladen worden. De klanten waarbij enkel goederen geleverd worden moeten dus eerst worden bereikt (Iori & Martello, 2010; Toth & Vigo, 2001).

3.2 Ladingsbeperkingen

Beperkingen container

Het gebruik van een container heeft twee verschillende soorten beperkingen. Vooreerst komen de afmetingen van de container aan bod. Deze heeft een bepaalde beperkte lengte, breedte en hoogte. De goederen van de klant moeten dus binnen deze afstanden blijven (Leung et al., 2013; Gendreau et al., 2006).

Vervolgens hebben de container en de vrachtwagen gewichtsbependingen. De goederen die opgeladen worden door één vrachtmagen mogen een bepaalde massa niet overschrijden. In België mag een vrachtwagen maximaal 30 000 kilogram geladen hebben (Leung et al., 2013). De som van de gevraagde goederen door de klanten kan dus niet groter zijn dan de toegestane massa voor de container (Iori & Martello, 2010; Wang et al., 2009).

Minimale oppervlakte

De goederen moeten op een bepaalde manier gestapeld worden zodat de totale gebruikte lengte van de container minimaal is. ZO bevinden zich dus zo weinig mogelijk open ruimtes tussen de gestapelde goederen. Op deze manier kunnen meerdere goederen in de container gestapeld worden (Gendreau et al., 2006). Dit is enkel mogelijk zolang dit conform is met de andere bependingen. Doerner et al. (2007) nemen een extra bepending op die inhoudt dat de totale hoogte van de lading in de container minimaal moet zijn. Zo kunnen de bovenste goederen niet verschuiven en kan geen schade aangebracht worden aan andere goederen of aan de container bij bruske bewegingen van de vrachtwagen.

Oriëntatie goederen

Leung et al. (2013) geven aan dat alle goederen een vaste oriëntatie moeten hebben. Deze vaste oriëntatie omschrijft dat alle goederen met dezelfde zijde naar de voorkant van de container gericht moeten zijn en dat ze niet geroteerd kunnen worden. De reden hiervoor kan tweedelig zijn. Ten eerste kunnen goederen die ingeladen worden op paletten, slechts in één bepaalde richting staan in de container, aangezien de heftruck de pallet slechts langs de voor- en achterkant kan opnemen. Hierbij geldt de bepending dat de container slechts één opening heeft waarlangs de goederen in- en uitgeladen worden (Fuellerer et al., 2009). De tweede reden is de stabiliteit van de goederen. De goederen dienen zo gestapeld te worden dat ze niet kunnen schuiven of omvallen en zo geen beschadiging op kunnen lopen (Iori & Martello., 2010; Ruan et al., 2012; Wang et al., 2009; Zachariadis et al., 2009). Junqueira et al. (2013) geven, verder gaande op de oriëntatie van de goederen, twee verschillende soorten stabiliteit weer. De verticale stabiliteit beschrijft de capaciteit van de goederen om niet te vallen op de grond van de vrachtwagen, veroorzaakt door een acceleratie en de zwaartekracht. Aan de andere kant beschrijft horizontale stabiliteit de weerstand van de inertie van hun eigen voorwerp (weerstand om niet te verschuiven) in de vrachtwagen, veroorzaakt door de veranderingen van de snelheid. Deze soorten stabiliteit hangen samen met het draagvlak van de goederen. Goederen moeten voldoende steun krijgen van de goederen die zich onder hen bevinden om zo niet verplaatst te worden tijdens het rijden (Gendreau et al., 2006).

Aard goederen

Bij het in- en uitladen van een container dient de aard van de goederen in rekening te worden gebracht. Zo kunnen de meeste goederen maar een bepaalde maximale druk op zich verdragen zonder dat ze beschadigd worden. Dit houdt in dat geen of slechts een aantal andere goederen op gestapeld kunnen worden zonder ze te beschadigen. Breekbaarheid is hier bijvoorbeeld een onderdeel van. Vooreerst zijn bepaalde goederen breekbaar en andere niet. Breekbare goederen kunnen niet onder andere goederen gestapeld worden, omdat het bovenste gedeelte van het goed geen druk kan verdragen zonder beschadigd te worden (Wang et al., 2009). Verder kunnen goederen gevaarlijk zijn, bijvoorbeeld ontvlambaar. Deze goederen hebben een andere behandeling nodig. Zo moeten de goederen bijvoorbeeld in een speciale verpakking vervoerd worden. Deze verpakking kan voorkomen dat het gevaarlijke product in aanraking komt met de buitenwereld. Tot slot kunnen goederen bederfbaar zijn. Deze goederen moeten bijvoorbeeld onder een koude temperatuur vervoerd worden (Junqueira et al., 2013).

Verder is het mogelijk dat bepaalde goederen niet samen vervoerd mogen worden. Een reden hiervoor kan zijn dat ze reageren met elkaar en zo schadelijke stoffen kunnen veroorzaken. Om de goederen toch in één rit te kunnen transporteren, moet de container uitgerust zijn met verschillende onafhankelijke compartimenten, zodat de goederen zich in verschillende afgesloten ruimtes bevinden (El Fallahi et al., 2006; Mendoza et al., 2010; Muyldermans & Pang; 2010; Reed et al., 2014).

LIFO filosofie

De uitlaadbaarheid van de container moet in rekening genomen worden bij het inladen ervan om zo weinig mogelijk tijd te verliezen bij het uitladen. De goederen van klant één moeten meteen uitlaadbaar zijn zonder goederen van een andere klant uit te moeten laden. Een goed van klant één mag dus niet onder of achter een item van klant twee liggen. Het uitladen van de container moet gebeuren zonder het herpositioneren van de goederen. Dit wordt de LIFO filosofie (Last In First Out) genoemd. De goederen die het laatst ingeladen worden, moeten als eerste worden uitgeladen. De goederen van één klant moeten dus bij elkaar liggen in de vrachtwagen. Op deze manier kunnen de lostijden geminimaliseerd worden (Felipe et al., 2009; Petersen & Madsen, 2009). Deze beperking kan verder uitgebreid worden met het feit dat de container slechts één deur heeft, namelijk achteraan de container. Alle goederen dienen dus langs deze deur in- en uitgeladen te worden (Carrabs et al., 2007; Cordeau et al., 2010; Gao et al., 2011; Iori & Martello, 2010; Li et al., 2011; Wang et al., 2009).

Rechthoekige goederen

Een vaak voorkomende assumptie binnen de ladingsbeperkingen is de assumptie dat alle goederen rechthoekig zijn. Dit vergemakkelijkt onder andere het stapelen van de goederen en het berekenen van het draagvlak ervan. Het laadruim van de container wordt met rechthoekige goederen ook

optimaal benut (Bortfeldt, A., 2012; Junqueira et al., 2013; Gendreau et al., 2006; Leung et al., 2013).

Manier van stapelen van de goederen

Doerner et al. (2007) nemen aan dat alle goederen op of in hetzelfde draagvlak geladen moeten worden. Deze onderzoekers maken hierbij gebruik van EURO paletten, waarbij het in- en uitladen van de container gebeurt met een vorkheftruck (Malapert et al., 2008). Op deze paletten dienen alle goederen gestapeld te worden. Een ander voorbeeld van een draagvlak is een bepaald type kist. Deze manier vergemakkelijkt het stapelen in de container en verbetert de stabiliteit van de goederen (Petersen & Madsen, 2009). Hierbij wordt vaak de assumptie gemaakt dat alle vrachtwagens/containers identiek zijn (Baldacci et al., 2007).

3.3 Rittenplanningsproblemen met ladingsbeperkingen

In deze sectie worden de belangrijkste problemen besproken die een uitbreiding zijn van de eerder beschreven problemen, namelijk het pickup and delivery problem en het vehicle routing problem. Vervolgens komen enkele problemen aan bod die geen rechtstreekse afleiding zijn van deze twee soorten problemen. Elke sectie begint met een samenvattende tabel. Hierin wordt elk probleem afzonderlijk gelinkt met zijn relevante (ladings)beperkingen.

3.3.1 Pickup and delivery problem

In tabel 1 worden de uitbreidingen van het traveling salesman problem beschreven samen met de relevante (ladings)beperkingen. De LIFO filosofie wordt bij het TSPPDHC tussen haakjes gezet, omdat deze beperking wel opgenomen kan worden, mits een behandelingskost.

Tabel 1: Pickup and delivery problemen met ladingsbeperkingen

Probleem	Auteur\ (ladings)beperking	Vertrek- en startpunt	Één route per vrachtwagen	Maximale duur van de route	Één vrachtwagen per klant	Tijdsvensters bij klanten	Aard goederen	LIFO filosofie	Rechtshoekige goederen	Manier van stapelen van de goederen
TSPPD	Carrabs et al. (2007)	✓	✓		✓			✓		
	Cordeau et al. (2010)	✓	✓		✓			✓		
	Dumitrescu et al. (2010)	✓	✓		✓	✓		✓		
	Erdogan et al. (2009)	✓	✓		✓			✓		
	Renaud et al. (2002)	✓	✓		✓			✓		
MTSPPD-LD	Cheang et al. (2012)	✓	✓	✓	✓			✓		
P&D	Xu et al. (2002)	✓	✓	✓	✓	✓		✓		
DTSPMS	Alba et al. (2011)	✓	✓		✓			✓		✓
	Coté et al. (2012)	✓	✓		✓			✓		✓
	Felipe et al. (2009)	✓	✓		✓			✓		✓
	Lusby et al. (2010)	✓	✓		✓			✓	✓	✓
	Petersen & Madsen (2009)	✓	✓		✓			✓		✓
TSPPDHC	Battarra et al. (2010)	✓	✓		✓			(✓)		
TSP-ATWPC	Fagerholt et al. (2000)	✓	✓		✓	✓	✓			

Een eerste uitbreiding op het traveling salesman problem is het TSPPD (traveling salesman problem with pickup and delivery), weergegeven door Carrabs et al. (2007). De vrachtwagen moet een aantal klanten bezoeken waarbij elke klant geassocieerd wordt met een locatie waar goederen opgepikt kunnen worden en een bestemming waar deze goederen gelost worden. Hierbij hoort de beperking dat elke klant slechts bereikt kan worden na het bezoeken van de laadplaats (Dumitrescu et al., 2010; Renaud et al., 2002). Dumitrescu et al. (2010) passen een branch-and-cut algoritme toe op dit probleem, terwijl Renaud et al. (2002) gebruik maken van verschillende verstoringsheuristieken. Het TSPPD is verder op te splitsen in twee verschillende problemen, namelijk TSPPDL (traveling salesman problem with pickup and delivery with LIFO loading constraints) en TSPPDF (traveling salesman problem with pickup and delivery with FIFO loading constraints).

Carrabs et al. (2007) beschrijven een TSPPDL. Bij dit probleem moeten de goederen uitgeladen worden volgens het LIFO principe (last in first out). Dit houdt in dat wanneer goed i geleverd wordt voor goed j , goed j ingeladen moet worden voor goed i ingeladen wordt (Cordeau et al., 2010). De goederen die als eerste uitgeladen worden bevinden zich dus achteraan in de container, waarbij de beperking geldt dat de container slechts één deur heeft (Carrabs et al., 2007; Gao et al., 2011). Voor een TSPPDF geldt het omgekeerde, waarbij de goederen ingeladen zijn volgens het FIFO principe (First in First out). Wanneer goed i geleverd wordt voor goed j , moet goed i ingeladen worden voordat goed j ingeladen wordt (Cordeau et al., 2010b).

Carrabs et al. (2007) passen op het TSPDDL een branch and bound methode toe. Deze methode begint met een algemene oplossing waarbij niet aan elke beperking voldaan wordt, de startoplossing. De eerste beperking waaraan niet voldaan was, wordt nu zo gemanipuleerd dat wel voldaan is aan deze beperking (bijvoorbeeld wanneer variabele x een waarde van 0.6 heeft terwijl dit een geheel getal moest zijn, worden er 2 scenario's uitgerekend met de integere burens van deze oplossing: $x=0$ en $x=1$). De oplossing wordt vervolgens opgesplitst in twee knopen ($x=0$ en $x=1$). Vanuit de beste oplossing wordt verder gewerkt met de volgende beperking waaraan de oplossing niet voldoet. Deze methode gaat verder totdat aan alle beperkingen voldaan is. De oplossing met de hoogste waarde waarbij aan alle voorwaarden voldaan is, is de optimale oplossing (Carrabs et al., 2007; Clautiaux et al., 2008; Hillier et al., 2010).

Erdogan et al. (2009) beschrijven een TSPPDF. Hierop passen deze onderzoekers een tabu search algoritme toe. Deze techniek probeert meerdere klanten te verwisselen tussen de verschillende routes in de rittenplanning om te kijken of dit een lagere totale tijd impliceert of niet. De verwisselde koppels van de klanten worden voor een aantal stappen op de taboe lijst gezet, ze worden taboe verklaard. Zolang ze op deze lijst staan, kunnen ze onderling niet van plaats wisselen. De techniek laat een tijdelijk slechtere oplossing toe, om zo een lokaal optimum te vermijden en een globaal optimum te vinden. De gebruiker dient zelf binnen deze techniek een stopcriteria in te stellen. De best verkregen oplossing wordt gezien als een goede oplossing (Hillier et al., 2010; Jun et al., 2012).

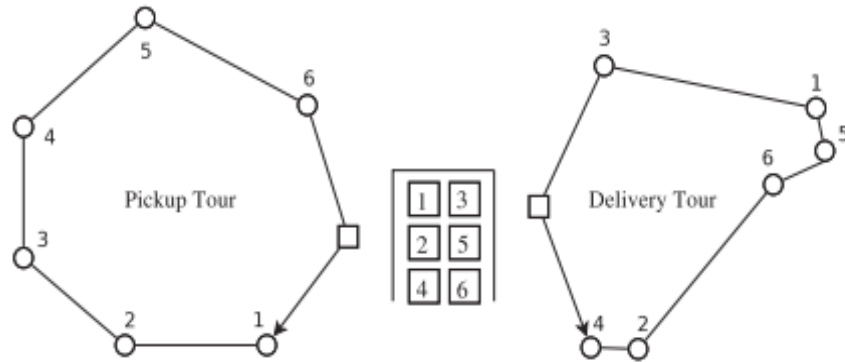
Cordeau et al. (2010) geven een branch and cut methode weer. Deze methode is deels gelijklopend met een branch and bound methode en wordt toegepast op een TSPPDL, zoals hierboven beschreven werd. De branch and cut methode maakt gebruik van een snijvlak. Dit is een soort nieuwe beperking die de oplossingsruimte verkleint. Hierdoor worden enkele toegestane oplossingen verwijderd. Door het introduceren van het snijvlak komt het vaak voor dat bepaalde variabelen al bepaald zijn, waardoor het vinden van een oplossing vergemakkelijkt wordt (Baldacci et al., 2007; Hillier et al., 2010).

Een uitbreiding op dit probleem is een MTSPPD-LD (multiple pickup and delivery traveling salesman problem with LIFO loading and distance constraints) (Cheang et al., 2012). Hierbij zijn meerdere vrachtwagens aanwezig. Elke vrachtwagen mag slechts een bepaalde tijd onderweg zijn en moet minstens de goederen van één klant leveren. Deze beperking is geen extra uitbreiding op het TSPDDL, maar wordt in deze paper extra opgenomen. Elke klant mag voorts slechts door één vrachtwagen bezocht worden. De goederen worden geladen volgens het LIFO principe. De goederen die als laatste ingeladen werden, moeten als eerste worden uitgeladen. Eerst wordt getracht om het aantal voertuigen minimaal te houden, om vervolgens de routes zo kort mogelijk te houden. Dit eerste wordt gedaan aan de hand van een simulated annealing. Vervolgens beschrijven Cheang et al. (2012) het zo kort mogelijk houden van de routes. Dit wordt gedaan aan de hand van een ejection pool algoritme. Hierbij is een pot met een aantal verzoeken tot toetreding in de rit aanwezig. Elk verzoek heeft een bepaalde penaltywaarde die de moeilijkheid tot toetreding tot de rit weergeeft. Eerst wordt willekeurig een deel verwijderd uit de route. Vervolgens wordt een verzoek genomen uit de pot. Wanneer de totale tijd van de route kleiner is dan de maximale

toegestane tijd en voldaan wordt aan alle (ladings)beperkingen, wordt het verzoek aanvaard en verwijderd uit de pot. Wanneer dit niet het geval is, wordt een ander verzoek gekozen. Deze techniek gaat door totdat de pot met verzoeken leeg is.

Xu et al. (2002) geven een andere benadering van het pickup and delivery problem weer. De vrachtwagens kunnen, zoals eerder weergegeven, in dit probleem onderweg meermaals goederen oppikken en leveren. Xu et al. (2002) beschrijven bij dit probleem enkele praktische beperkingen die zelden onderzocht zijn. Zo zijn verschillende vrachtwagens beschikbaar, waarbij elke vrachtwagen tijdsvensters heeft van zowel leveranciers waar de goederen opgepikt moeten worden, als tijdsvensters van de klanten waar de goederen geleverd dienen te worden. Elke rit dient rekening te houden met de werkuren van de chauffeur. Deze mogen de wettelijk toegelaten rijuren niet overschrijden. Tot slot dienen alle ladingsbeperkingen beschreven bij het TSPPD ook hier te worden opgenomen. De onderzoekers creëren een oplossing voor dit probleem aan de hand van een column generation benadering.

Alba et al. (2011) bespreken een DTSPMS (double traveling salesman problem with multiple stacks), een probleem dat deels gelijkloopt met een TSPPD. Binnen dit probleem worden alle goederen gestapeld op hetzelfde type paletten. Elke pallet draagt een aantal goederen in een stapel. Deze verschillende stapels worden in de container ingeladen volgens het LIFO principe. Alle goederen dienen ingeladen te zijn voordat ze gelost worden, het herinladen van de goederen is binnen dit probleem verboden. Petersen & Madsen (2009) geven weer dat het probleem opgedeeld is in twee verschillende regio's en routes. Deze regio's worden verondersteld ver uit elkaar te liggen. De eerste regio is de laadregio, waar alle laadplaatsen van de goederen zich bevinden. De tweede regio is de regio waar alle goederen gelost worden. In deze regio zijn de locaties van alle klanten gevestigd. Voor beide routes moet een optimale route gezocht worden. Binnen dit probleem wordt abstractie gemaakt van de tijdsvensters van de klanten (Alba et al., 2011; Coté et al., 2012; Felipe et al., 2009; Lusby et al., 2010). Lusby et al. (2010) nemen de extra beperking op dat alle goederen op paletten gestapeld worden. Figuur 1 geeft een voorbeeld van een DTSPMS. De figuur geeft links de laadregio weer en rechts de losregio. De cijfers geven de volgorde aan waarin de laadlocaties bezocht worden. De cijfers geven vervolgens weer hoe deze goederen in de container worden geladen, volgens het LIFO principe, zodat goederen niet extra in- en uitgeladen moeten worden. Rechts op de figuur wordt weergegeven in welke volgorde de goederen tot bij de klanten worden gebracht (Lusby et al., 2010).



Figuur 1: Voorbeeld DTSPMS (Lusby et al., 2010)

Petersen & Madsen (2009) gebruiken drie verschillende methodes voor het bespreken van de rittenplanning, nl: tabu search methode, simulated annealing en large neighborhood search. Felipe et al. (2009) gebruiken ook de large neighborhood search methode, terwijl Alba et al. (2011) gebruik maken van een branch-and-cut methode. Coté et al. (2012) pasten daarentegen een lage neighborhood search toe.

Battarra et al. (2010) geven een uitbreiding van een TSPPD, een TSPPDHC (traveling salesman problem with pickup and delivery and handling costs). De container wordt verondersteld slechts één deur te hebben en elke klant mag ook hier slechts één keer bezocht worden. De goederen moeten zo ingeladen worden dat alle goederen slechts één maal uitgeladen moeten worden. Wanneer deze goederen toch meerdere keren uitgeladen worden, wordt hier een behandelingskost aan gekoppeld. Deze kost wordt als beperking opgenomen in het model. Aangezien het doel van de rittenplanning met ladingsbeperkingen erin bestaat om de totale transportkosten te minimaliseren, moet deze behandelingskost geminimaliseerd/ vermeden worden. Op dit probleem wordt een branch and cut algoritme toegepast.

Een andere afleiding van een traveling salesman problem is een een TSP-ATWPC (traveling salesman problem with allocation, time window and precedence constraints). De vrachtwagen wordt in dit onderzoek vervangen door een schip. Meerdere schepen zijn aanwezig. Elk schip is uitgerust met een cargo in plaats van een container, die verdeeld kan worden in verschillende compartimenten met behulp van een verschuifbaar dwarsschot. Dit dwarsschot kan een bepaald deel van de cargo volledig afsluiten van de rest van de cargo. Deze schoten zijn per schip beperkt in aantal, dus dit dient opgenomen te worden als beperking in het probleem. Hierdoor kunnen verschillende producten in één keer verscheept worden, zoals mogelijk met een gewone container. Het TSP-ATWPC is een afleiding van het MTSPPD-LD, waarbij het schip verschillende laad- en losplaatsen heeft binnen de route. De tijdsvensters van de klanten, de periodes waartussen de klanten hun leveringen wensen te ontvangen, worden in het probleem opgenomen als beperking. Verder worden ook de tijdsvensters van de leveranciers opgenomen, wanneer zij wensen dat de goederen opgepikt worden. Dit probleem wordt als een kortste route probleem opgelost met behulp van een grafiek (Fagerholt et al., 2000).

3.3.2 Vehicle routing problem

Tabel 2: Vehicle routing problemen met ladingsbeperkingen

Pro-bleem	Auteur\ (ladings)- beperking	Vertrek- en startpunt	Één route per vrachtwagen	Maximale duur van de route	Heterogene vrachtwagens	Één vrachtwagen per klant	Tijdsvensters bij klanten	Backhaul	Beperkingen container	Minimale oppervlakte	Oriëntatie goederen	Aard goederen	LIFO filosofie	Rechtthoekige goederen	Manier van stapelen van de goederen
CVRP	Baldacci et al. (2010)	✓	✓		✓	✓			✓						
	Iori & Martello (2010)	✓	✓			✓			✓						
2L-CVRP	Duhamel et al. (2011)	✓	✓			✓			✓	✓			✓		
	Fuellerer et al. (2009)	✓	✓			✓			✓	✓	✓		✓		
	Gendreau et al. (2008)	✓	✓			✓			✓	✓			✓		
	Iori et al. (2007)	✓	✓			✓			✓	✓			✓	✓	
	Leung et al. (2011)	✓	✓			✓			✓	✓		✓	✓	✓	
2L-HFVRP	Leung et al. (2013)	✓	✓		✓	✓			✓	✓			✓	✓	
2L-PDVRP	Malapert et al. (2008)	✓	✓			✓		✓	✓	✓			✓	✓	
3L-CVRP	Bortfeldt (2012)	✓	✓			✓	✓		✓	✓		✓	✓	✓	✓
	Junqueira et al. (2013)	✓	✓			✓			✓	✓		✓	✓	✓	✓
	Ruan et al. (2012)	✓	✓			✓			✓	✓		✓	✓	✓	✓
	Tarantilis et al. (2009)	✓	✓			✓			✓	✓		✓	✓	✓	✓
MP-VRP	Tricoire et al. (2010)	✓	✓			✓			✓			✓	✓		
MC-VRP	El Fallahi et al. (2006)	✓	✓	✓	✓	(✓)			✓			✓			
	Mendoza et al. (2010)	✓	✓		✓	✓			✓			✓			

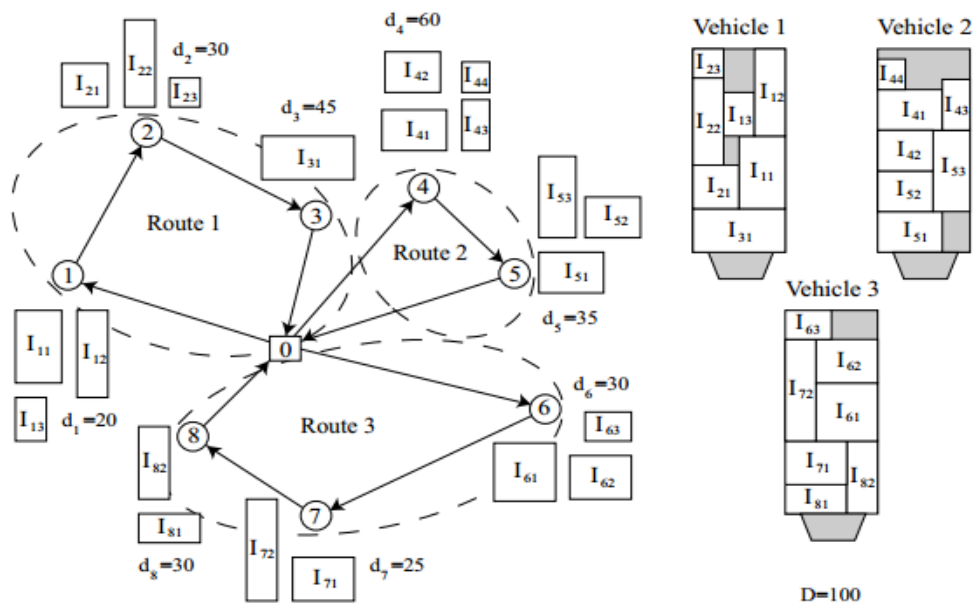
	Muyldermans & Pang (2010)	✓	✓	✓	✓	(✓)			✓			✓			
	Reed et al. (2014)	✓	✓		✓	✓	✓		✓			✓			
SD-VRP	Chao & Liou (2005)	✓	✓		✓	✓			✓						

In tabel 2 worden de uitbreidingen van het vehicle routing problem beschreven samen met de relevante kenmerken en ladingsbeperkingen. De eerste uitbreiding is het CVRP (Capacitated vehicle routing problem), een natuurlijke uitbreiding van het traveling salesman problem. Het CVRP is bijna hetzelfde als een vehicle routing problem, met als enige uitbreiding dat elke vrachtwagen een beperkt laadvermogen heeft. Alle vrachtwagens worden verondersteld hetzelfde te zijn. Dit probleem zoekt routes voor een aantal vrachtwagens waarbij een aantal klanten bezocht moeten worden. Hierbij gelden enkele assumpties: elke klant wordt door één vrachtwagen bezocht, elke vrachtwagen voert maximaal één route uit, elke vrachtwagen moet gebruikt worden, elke vrachtwagen begint en eindigt zijn route op hetzelfde punt en de som van de gevraagde goederen van de route is niet groter dan de ladingscapaciteit van de vrachtwagen (Baldacci et al., 2010; Bortfeldt et al., 2012; Duhamel et al., 2011; Fuellerer et al., 2009; Gendreau et al., 2008; Iori & Martello, 2010; Junqueira et al., 2013; Leung et al., 2011; Leung et al., 2013; Malapert et al., 2008; Ruan et al., 2012; Tarantilis et al., 2009; Zachariadis et al., 2009). Baldacci et al (2010) nemen de heterogene vloot en de aarde van de goederen op als extra beperking.

Een uitbreiding op het CVRP is het 2L-CVRP (two-dimensional loading capacitated vehicle routing problem) (Gendreau et al., 2008; Iori et al., 2007; Leung et al., 2011). Alle beperkingen beschreven bij het CVRP zijn hier van toepassing. Alle goederen worden als rechthoekig beschouwd (Iori et al., 2007; Leung et al., 2011). De container wordt in dit probleem gezien als een tweedimensionele laadruimte, dit door abstractie te maken van de hoogte van de container. Een voorbeeld van deze abstractie uit de realiteit is bijvoorbeeld wanneer de dozen te zwaar zijn om op elkaar te stapelen. Elke vrachtwagen heeft een lading die aan alle beperkingen voldoet wanneer alle goederen gevraagd door de klanten in de verschillende laadruimtes (lengte*breedte) passen (Junqueira et al., 2013; Leung et al., 2011).

Het 2L-CVRP is verder uit te breiden vanuit twee verschillende invalshoeken. De eerste invalshoek handelt over een manier van in- en uitladen van de container, namelijk de LIFO filosofie. Wanneer de goederen van klant één meteen uitlaadbaar zijn zonder goederen van een andere klant uit te laden, wordt de lading sequential/rear loading genoemd. De goederen van een klant die later bezocht wordt kan de goederen van een klant die eerder bezocht wordt niet de weg versperren bij het uitladen van de container. Een uitbreiding op dit probleem houdt in dat de container slechts één deur heeft waarlangs de goederen uitgeladen worden. Wanneer het wel toegestaan is om goederen van een klant die later bezocht wordt in en uit te laden bij een eerder te bezoeken klant, wordt dit unrestricted loading genoemd. Deze twee verschillende uitbreidingen kunnen in combinatie gebruikt worden, waarbij vier verschillende problemen worden bekomen (Duhamel et al., 2011; Fuellerer et al., 2009; Iori & Martello, 2010). Een voorbeeld van een sequential/rear

loading wordt weergegeven in figuur twee. Gendreau et al. (2008) passen hier een tabu search methode op toe, net zoals Iori et al. (2007).



Figuur 2: Voorbeeld VCRP met sequential/rear loading (Gendreau et al., 2007)

Elke vrachtwagen vertrekt en komt aan op de locatie van het bedrijf, namelijk op knooppunt nul. De andere knooppunten staan voor de verschillende klanten. Deze klanten vragen verschillende goederen. Elk goed wordt beschreven met behulp van twee cijfers. Het eerste cijfer geeft het nummer van de klant weer, terwijl het tweede nummer het nummer van het goed aangeeft. De eerste klant heeft bijvoorbeeld drie goederen die gevraagd worden. Deze drie goederen krijgen als tweede cijfer dan respectievelijk één, twee en drie. De kleine letter d geeft tot slot de totale massa van de gevraagde goederen van elke klant aan. De som van de massa van alle goederen in een vrachtwagen mag niet boven een wettelijk bepaalde waarde gaan. Deze waarde bedraagt 30 000 kilogram.

De tweede uitbreiding handelt over de oriëntatie van de goederen. Een oriented loading geeft weer dat de goederen niet kunnen roteren om hun horizontale as in de container. Hiervoor kunnen enkele redenen zijn, namelijk: de pallet waarop de goederen gestapeld zijn kan slechts langs één zijde opgetild worden of het gewicht van de goederen is niet evenredig verdeeld over de pallet waardoor de pallet slechts langs één zijde opgetild kan worden (Fuellerer et al., 2009). De andere mogelijkheid is de non oriented loading, waarbij de goederen wel kunnen roteren om hun horizontale as (Duhamel et al., 2011; Fuellerer et al., 2009; Iori & Martello, 2010).

Leung et al. (2013) beschrijven een variant van het gewone 2L-CVRP, het 2L-HFVRP (heterogeneous fleet vehicle routing problems with 2-dimensional constraints). De klanten worden bediend door een vloot van heterogene vrachtwagens. Elke vrachtwagen/container heeft verschillende eigenschappen, bijvoorbeeld: de breedte en de lengte van de container en de variabele operationele kosten van de vrachtwagen. Leung et al. (2013) nemen de aard van de goederen en de tijdsvensters van de klanten niet op als beperking. Op dit probleem wordt de

simulated annealing methode toegepast. Bij deze methode gaat elke iteratie van de huidige oplossing verder naar een directe buur van deze oplossing. De directe buur wordt altijd aanvaard wanneer de oplossing beter is als de vorige. Wanneer deze waarde niet beter is, wordt gekeken naar de kans van de aanvaarding. Hierdoor blijft het mogelijk om een tijdelijk slechtere oplossing toe te staan. Deze kans wordt met de volgende formule berekend:

$$\text{kans op aanvaarding} = e^{(z_i - z_j) / T} \text{ met } i = \text{beginwaarde}; j = \text{eindwaarde}; T = \text{temperatuur}$$

De gebruiker van deze methode dient zelf een temperatuur T op te stellen. Deze is willekeurig te kiezen, maar de beginwaarde hiervan moet hoog zijn om de kans op aanvaarding in het begin hoog te houden. Deze temperatuur wordt als volgt berekend:

$$T_k = 0.9 * T_{k-1} \text{ waarbij } k \text{ de iteratievolgorde aangeeft}$$

Vervolgens wordt een willekeurig getal gekozen tussen nul en één en wordt dit getal vergeleken met de kans op aanvaarding. Is dit getal groter, dan wordt de oplossing verworpen. Als dit getal kleiner is, wordt de oplossing aanvaard. Wanneer het voorop vastgestelde aantal iteraties uitgevoerd zijn of wanneer van geen enkele buur een waarde geaccepteerd wordt, stopt de simulated annealing. De beste oplossing over alle iteraties heen wordt beschouwd als een goede oplossing (Hillier et al., 2010).

Vervolgens gebruiken Leung et al. (2013) een combinatie van twee technieken. De oplossing die verkregen werd met het simulated annealing algoritme, wordt verder gebruikt als initiële oplossing in een tabu search methode (Petersen & Madsen, 2009).

Een andere variant van het 2L-CVRP, is het 2L-PDVRP (pickup and delivery vehicle routing problem with two-dimensional loading constraints). Hierbij leveren de vrachtwagens onderweg niet enkel goederen bij de klanten, maar nemen ze ook enkele goederen terug mee. De levering van de goederen moet vanzelfsprekend plaatsvinden na het oppikken van de betreffende goederen. Verder is dit probleem volledig overlappend met het 2L-CVRP (Malapert et al., 2008). Ook deze onderzoekers laten niet toe om zogenaamde "gedeelde leveringen" uit te voeren. Elke klant mag voorts maximaal door één enkele vrachtwagen bediend worden. Een extra opgenomen beperking houdt in dat alle goederen uitlaadbaar moeten zijn door een heftruck uitgerust met een vorklift. Dit probleem wordt enkel beschreven, hier wordt verder geen methode op toegepast (Malapert et al., 2008).

Een CVRP kan niet enkel bekeken worden in twee dimensies, maar ook driedimensionaal, namelijk via het 3L-CVRP (three-dimensional loading capacitated vehicle routing problem). Voor elke vrachtwagen moeten een aantal rechthoekige dozen in een rechthoekige container geladen worden zonder dat een overlapping van de goederen aanwezig is. De vloot vrachtwagens wordt homogeen beschouwd. De uitbreiding op het eerder besproken 2L-CVRP schuilt zich in het opnemen van de hoogte van de container als extra beperking. De totale massa van de goederen moet kleiner zijn dan de totale toegestane massa. De totale oppervlakte van de goederen dient ook kleiner of gelijk

te zijn aan de totale beschikbare oppervlakte van de container (Junqueira et al., 2013; Ruan et al., 2012; Tarantilis et al., 2009). Bortfeldt (2012) geeft aan dat het 3L-CVRP, bij de toepassing in de realiteit ervan, een voordeel heeft ten opzichte van het 2L-CVRP. Een rittenplanning die gebruikmaakt van een 2L-CVRP, kan in de praktijk niet altijd ingezet worden, aangezien de hoogte van de container overschreden kan zijn. Het toepassen van een methode op een 2L-CVRP is vaak een stuk makkelijker. Een 3L-CVRP sluit daarentegen veel dichter aan bij de werkelijkheid. De beperkingen die worden opgenomen binnen het 3L-CVRP zijn de verticale stabiliteit, de multidrop situatie (de goederen van de eerste klant moeten als eerste uit te laden zijn, idem voor de volgende klanten) en de aard van de goederen (Junqueira et al., 2013; Ruan et al., 2012; Tarantilis et al., 2009). Bortfeldt (2012) breidt deze beperkingen uit met tijdsvensters bij klanten en een totale toegestane massa van elke doos die niet overschreden mag worden. Junqueira et al. (2013) creëert vervolgens een oplossing met de software GUROBI. Tarantilis et al. (2009) maken gebruik van een hybride metaheuristische methodologie. Dit is een combinatie van een tabu search methode en een local search methode.

Een MP-VRP (Multi-pile vehicle routing problem) bekijkt het vehicle routing problem op een andere manier. Elke klant vraagt een mix van een aantal goederen. De goederen dienen ingeladen te worden op verschillende stapels, bijvoorbeeld op EURO paletten. Deze stapels van goederen kunnen op elkaar gestapeld worden. Hierbij moet echter rekening worden gehouden met de aard van de goederen. De goederen die hetzelfde zijn worden per klant op één pallet gestapeld. Dit wordt voor alle verschillende goederen gedaan, waarna alle stapels bij elkaar gezet worden in de container, zodat de container uitgeladen kan worden volgens het LIFO principe. Wanneer alle stapels hetzelfde zijn is dit probleem hetzelfde als een gewoon CVRP (Doerner et al., 2007). Tricoire et al. (2010) geven in het voorbeeld van hout dat in bepaalde pakketten in de container geladen wordt. Op dit probleem passen de onderzoekers een variable neighborhood search toe. De methode die hier wordt toegepast is de "cross-exchange" methode. Dit houdt in dat twee verschillende segmenten van verschillende routes worden verwisseld, rekening houdend met de richting van de segmenten (groepen klanten). Vooraf hebben de onderzoekers een maximum aantal klanten bepaald die in een segment kunnen zitten. Het verwisselen van positie wordt toegestaan wanneer voldaan wordt aan het aanvaardingscriteria. Het aanvaardingscriteria is bijvoorbeeld hetzelfde als bij simulated annealing, zoals reeds eerder werd besproken. Wanneer een verwisseling geselecteerd wordt, worden de twee nieuwe routes opgesteld, mits aan alle beperkingen is voldaan (Tricoire et al., 2010).

Een MC-VRP (multi-compartment vehicle routing problem) geeft een probleem weer waarbij de klanten verschillende goederen vragen. Deze goederen moeten echter strikt gescheiden blijven van elkaar. Mendoza et al. (2010) beschrijven hierbij het ophalen van schapen- en koeienmelk door één enkele vrachtwagen. Om het mogelijk te maken dat deze goederen toch in één rit opgeladen kunnen worden en zo de totale kosten geminimaliseerd worden, moet de container bestaan uit strikt gescheiden onafhankelijke compartimenten. De container wordt vervangen door verschillende reservoirs (El Fallahi et al., 2008; Mendoza et al., 2010; Muyldermans & Pang, 2010; Reed et al., 2014). Reed et al. (2014) nemen de tijdsvensters bij de klanten op. Soms wordt aangenomen dat een klant meermaals bezocht mag worden bij een levering van meerdere producten (El Fallahi et

al., 2010; Muyldermans & Pang, 2010). Een oplossing voor dit probleem wordt gecreëerd aan de hand van een memetisch algoritme (El Fallahi et al., 2008; Mendoza et al., 2010). El Fallahi et al. (2008) creëren verder nog een oplossing met de tabu search methode, terwijl Reed et al. (2014) het ant colony optimization algoritme toepassen. Muyldermans & Pang (2010) passen een local search algoritme toe.

Niet enkel de aard van de goederen kan de keuze voor een type vrachtwagen beïnvloeden, ook de toegangswegen tot bij de klant doen dit. Wanneer de klant slecht bereikbaar is, bijvoorbeeld door slechte toegankelijke lokale wegen, kan geopteerd worden voor een kleine vrachtwagen. Hierbij moet rekening worden gehouden met de gewichtsbependingen en de afmetingen van de vrachtwagen en de bijhorende container. Zo moet de lading aangepast worden aan het type vrachtwagen. Dit probleem wordt omschreven als het SD-VRP (site-dependent vehicle routing problem). Het enige verschil met het gewone vehicle routing problem situeert zich in de heterogene vloot van vrachtwagens (Chao & Liou, 2005). De onderzoekers passen een zelfgemaakte heuristiek toe op dit probleem.

3.3.3 Andere rittenplanningsproblemen met ladingsbependingen

Onderstaande problemen zijn niet onder te brengen onder het vehicle routing problem of het pickup and delivery problem. Deze problemen beschrijven echter wel een rittenplanningsprobleem met ladingsbependingen. Tabel 3 geeft een samenvatting van deze problemen met zijn relevante kenmerken en ladingsbependingen.

Tabel 3: Andere rittenplanningsproblemen met ladingsbependingen

Probleem	Auteur\ (ladings)bepending	Vertrek- startpunt en	Één route per vrachtwagen	Maximale duur van de route	Heterogene vrachtwagens	Één vrachtwagen per klant	Tijdsvensters bij klanten	LIFO filosofie
MPSRP	Cornellier et al. (2008)	√	√	√	√	√		√
PSRPTW	Cornellier et al. (2009)	√	√	√	√	√	√	√
ACT	Tadei et al. (2002)	√	√		√			√

Cornellier et al. (2008) beschrijven een MPSRP (multi-period petrol station replenishment problem). Het doel van dit probleem bestaat erin om de levering van verschillende petroleumproducten naar verschillende petroleumstations te optimaliseren. Deze stations zijn allemaal uitgerust met enkele ondergrondse opslagtanks. Bij dit probleem moet gekeken worden naar de hoeveelheid van elk product die naar elk station vervoerd moeten worden en hoe deze tussen de verschillende reservoirs van de verschillende vrachtwagens verdeeld moeten worden. Elke vrachtwagen is namelijk uitgerust met één of meerdere reservoirs, in tegenstelling tot de problemen hiervoor, waar de vrachtwagens uitgerust waren met een container. Alle vrachtwagens

worden binnen dit probleem als heterogeen beschouwd. Wanneer de maximale duur van de route overschreden wordt, worden de overuren van de chauffeur als extra kost opgenomen. Verder nemen de onderzoekers aan dat alle vrachtwagens even snel rijden en dezelfde vaste en variabele kosten hebben, hoewel het hier gaat om een heterogene vloot van vrachtwagens. Om de vervoerskosten te drukken, met name de bezinekosten, moet elke vrachtwagen leeg terugkeren naar het vertrekpunt. Zo worden namelijk geen nodeloze liters petroleum getransporteerd (Brown et al., 1987). Cornellier et al. (2008) passen op dit probleem een multi-phase heuristiek toe. Deze techniek maakt gebruik van twee verschillende lokale zoekprocedures. Aangezien deze methode niet vaak gebruikt wordt, zal deze niet verder besproken worden.

Cornellier et al. (2009) geven een uitbreiding van het MPSRP dat hierboven werd beschreven weer, namelijk een PSRPTW (petrol station replenishment problem with time windows). Het enige verschil is dat dit probleem de tijdsvensters bij de klanten, de petroleumstations, mee opneemt in de beperkingen. Voorts wordt dezelfde methode, multi-phase heuristiek, toegepast op dit probleem als op het MPSRP.

Een ander praktijkprobleem van een rittenplanning met ladingsbeperkingen is een ACTP (auto-carrier transportation problem). Dit probleem beschrijft hoe dealers van auto's deze auto's naar de klanten moeten vervoeren. Dit transport gebeurt met speciaal uitgeruste vrachtwagens. Deze vrachtwagens zijn niet uitgerust met een container, maar met een 2-delig laadplatform (boven en onder) waar de auto's opgereden worden. Dikwijls zijn enkel grote transportbedrijven uitgerust met dit soort vrachtwagens, waardoor dit transport vaak uitbesteed wordt. Voor het laden van dit soort vrachtwagens bestaan verschillende soorten technieken zoals 'upper loading plane lifting'. Een uitleg van deze technieken leidt echter te ver af van de rittenplanning met ladingsbeperkingen. Tadei et al. (2002) nemen de beperking op dat elke vrachtwagens hetzelfde is en elf auto's kan laden. Het probleem wordt opgelost door het gebruik van een drie stappen heuristische procedure.

4 Praktijkstudie

Voor deze praktijkstudie wordt samengewerkt met het bedrijf Aegten NV gelegen te Meeuwen-Gruitrode. Dit bedrijf streeft ernaar om zijn klanten een totaalpakket van producten aan te bieden. Zo worden verschillende veevoeders, meststoffen, zaden, zouten, sproeistoffen (gewasbeschermingsmiddelen), mineralen, melkpoeder, landbouwfolie, ... verkocht. De klanten zijn vooral landbouwers, maar ook verschillende handelaars, groendiensten, gemeentebesturen, tuinaanleggers en boomkwekerijen. De landbouwers worden begeleid bij het telen van de producten, bijvoorbeeld door zaden- en gewasbescherming. Verder wordt korrelmaïs aangekocht om te drogen en opende Aegten NV enkele jaren geleden zijn nieuwe zaak "Agro-Dier&Tuin", waar een groot assortiment aan diervoeding, tuin- en bakproducten verkocht worden.

Tabel 4 geeft de belangrijkste producten weer met de relevante laadeenheden. Deze laadeenheden worden verderop in deze thesis besproken.

Tabel 4: Laadeenheden met relevante producten

Laadeenheid \ product	Meststoffen	Veevoeders	Landbouwsout	Sproeistoffen	Mineralen	Melkpoeder	Landbouwfolie	Zaden
Zakcontainer	√							
Bulk	√							
Dozen		√	√	√	√	√	√	√
Losse eenheden		√	√	√	√	√	√	√
Paletten	√	√	√		√	√		√

Het doel van deze praktijkstudie is tweeledig. Als eerste wordt de rittenplanning met ladingsbeperkingen van het bedrijf Aegten NV beschreven. Hiervoor wordt intensief samengewerkt met onder andere de planner en de kwaliteitsmanager. Zo wordt getracht niet enkel de rittenplanning te bespreken, maar ook om de subjectieve kennis hierachter, voortvloeiend uit de beschikbare ervaring, in kaart te brengen. Deze rittenplanning wordt vervolgens vergeleken met de beschreven literatuurstudie, waarbij gekeken wordt welke algemene kenmerken en ladingsbeperkingen geïmplementeerd worden in de rittenplanning en welke niet.

Vervolgens wordt de rittenplanning van één week van de bulkwagen in detail bestudeerd en wordt onderzocht of verbeteringen mogelijk zijn. Eind februari 2014 is de nieuwe bulkwagen in werking getreden bij Aegten NV. De vorige wagen had drie verschillende compartimenten, terwijl deze wagen vijf verschillende compartimenten heeft. Zo kunnen maximaal vijf verschillende klanten in één rit bereikt worden. De bulkwagen wordt ingezet voor het transport van verschillende mengelingen meststoffen, vooral richting Nederland. De meststoffen worden bij de klant ter plaatse

in een opslagsilo geblazen. Het doel van dit transporttype is tweeledig: ten eerste wordt getracht om de totale transportkosten te minimaliseren door de totale minimale afstand te vinden van het totale aantal routes. Ten tweede wordt geprobeerd om altijd aan de wensen van de klanten te voldoen door altijd binnen de tijdsvensters van de klanten te leveren. Zo wordt geprobeerd om de tevredenheid van de klanten zo hoog mogelijk te houden.

4.1 Rittenplanning bij Aegten NV

De groei van Aegten NV heeft een systematisch grotere rittenplanning met zich meegebracht. Zo worden in het hoogseizoen een gemiddelde van tachtig klanten bezocht per dag, verdeeld over ongeveer twaalf ritten. Een onderzoek naar de efficiëntie van deze planning heeft echter nooit plaatsgevonden. Voor het opstellen van de rittenplanning wordt geen gebruik gemaakt van een software. De rittenplanning wordt manueel uitgevoerd door een vroegere chauffeur van het bedrijf. Deze persoon kent de verschillende routes naar bijna elke klant en gebruikt zijn jarenlange ervaring als chauffeur bij het opmaken van de rittenplanning. Het doel van de rittenplanning is om de kosten ervan zo laag mogelijk en de klantentevredenheid zo hoog mogelijk te houden. Hieronder wordt een overzicht gegeven van de manier waarop de planning opgesteld wordt.

Een bestelling kan op verschillende manieren geplaatst worden: via een vertegenwoordiger, online, telefonisch, ... Deze bestelling wordt omgezet in een bestelbon. Binnen het bedrijf speelt het idee om in de toekomst de verschillende vertegenwoordigers uit te rusten met een tablet, waarop men een programma zou installeren zodat de bestelbon bij de klant zelf opgesteld kan worden. Op deze manier kunnen fouten vermeden worden. Alle bestelbonnen belanden vervolgens bij de planner. Deze stelt op basis van deze bestelbonnen alle ritten kort voor de uitvoering ervan samen. De chauffeur krijgt de bestelbonnen van één rit, in volgorde dat de rit dient plaats te vinden, en krijgt verder uitleg over hoe de verschillende producten ingeladen moeten worden. Hierbij probeert de planner de LIFO strategie toe te passen die reeds in de literatuur aan bod kwam. De chauffeur laadt de wagen op basis van deze bestelbonnen en de uitleg van de planner.

Bij het opstellen van de rittenplanning worden enkele vuistregels toegepast. Ten eerste dienen vrachtwagens in drukke periodes vaak vroeg te vertrekken. Hierdoor wordt geprobeerd om de geografisch verst afliggende klanten als eerste te bereiken. Zo komt de vrachtwagen niet op een te vroeg tijdstip aan bij de klant, aangezien een bezoek op zo een vroeg tijdstip vaak niet binnen de tijdsvensters van de klant ligt. Ten tweede dienen de vrachtwagens die de zakcontainers vervoeren eerst de volle containers te lossen voordat de lege containers kunnen opgepikt worden. Dit komt overeen met een pickup and delivery probleem uit de literatuur. De locatie van de lege containers dient dus als laatste te worden bezocht. Dit wordt opgenomen in de rittenplanning. Ten derde bevinden klanten zich soms zeer dicht bij elkaar. Wanneer dit zich voordoet in een rit, geeft de planner niet aan welke klant als eerste moet worden bereikt. De chauffeur maakt gebruik van een gps systeem om te bepalen welke klant hij eerst bezoekt. De chauffeur geeft de locaties van de verschillende klanten in en bezoekt de klant die zich het dichtst bevindt bij de huidige positie van de vrachtwagen. Alle goederen van deze klanten moeten wel uitlaadbaar zijn zonder goederen van

een andere klant te moeten uitladen, zodat het LIFO principe steeds toepasbaar blijft. Ten vierde probeert de planner de rit zo te plannen dat de grootste massa (vaak de grootste bestelling) in het begin van de rit geleverd wordt. Dit gebeurt enkel wanneer in de lading een groot verschil tussen de gevraagde massa's van de klanten aanwezig is. Zo daalt het benzineverbruik van de vrachtwagen. De stabiliteit van de totale lading mag hier echter niet onder lijden. De goederen mogen bijvoorbeeld niet gaan schuiven als de grootste lading gelost is. Ten vijfde probeert de planner, zoals eerder aangegeven, de rit zo te plannen dat het LIFO systeem toegepast kan worden op het in- en uitladen van de vrachtwagen. Hier wordt echter onder bepaalde omstandigheden vanaf geweken. Zo worden de goederen van een klant die een bestelling plaatst wanneer de vrachtwagens reeds ingeladen wordt, vaak bovenop andere goederen gestapeld (als dit mogelijk is) of achteraan in de container gezet. Deze goederen moeten daardoor misschien meerdere keren in- en uitgeladen worden. Verder kan ook van het LIFO principe afgeweken worden om de stabiliteit van de goederen te garanderen. Een klant kan ook tijdens de rit vragen om zijn producten eerder te ontvangen. De planner kan beslissen dat deze klant eerst bezocht moet worden. Zo wordt de rittenplanning dynamisch. Hierdoor kan het voorvallen dat de container niet meer ingeladen is volgens het LIFO systeem. Tot slot heeft elk gewasbeschermingsmiddel een aantal punten die de gevaarlijkheid aangeven. De lading van één rit mag niet meer als duizend punten bevatten, waarmee rekening moet worden gehouden in de rittenplanning.

Aegten NV stelt geen garanties op over zijn leveringen (bijvoorbeeld: levering binnen de drie werkdagen), maar tracht altijd te voldoen aan de wensen van elke klant. Onder normale omstandigheden mogen de Belgische klanten veronderstellen dat de producten binnen de drie werkdagen geleverd worden. De Nederlandse klanten worden normaal binnen de vijf dagen bediend. De mogelijkheid bestaat dus om een levering van dag te verplaatsen. Tot slot probeert de planner om voor elke rit een gepast voertuig in te zetten. Zo wordt getracht te vermijden dat bijvoorbeeld een grote vrachtwagen een rit moet uitvoeren die evenzeer door de camionette kon worden uitgevoerd. Hiermee wordt geprobeerd om de kostenefficiëntie te verhogen.

Door de jarenlange ervaring van de planner, de planner heeft als chauffeur bijna elke klant uit het huidige klantenbestand bezocht, weet hij hoe de locatie van de klant eruit ziet. Hij weet of de goederen makkelijk losbaar zijn op deze locatie. Hij probeert het type voertuig aan te passen aan de locatie van de klant, zodat de goederen altijd kunnen gelost worden. Wanneer bijvoorbeeld sproeistoffen moeten geleverd worden op een bedrijf met een zeer smalle oprit, is het mogelijk dat dit transport uitgevoerd wordt met een kleiner voertuig in plaats van met een vrachtwagen met oppompbaar platform. Wanneer dit echter niet mogelijk is, bijvoorbeeld omdat de andere voertuigen niet aanwezig zijn, wordt met de klant overlegd of het mogelijk is om de goederen op de straat te lossen. Hier is vaak meer ruimte beschikbaar om dit te doen.

4.2 Verschillende rittenplanningsbeperkingen

De verschillende beperkingen die opgenomen worden in de rittenplanning van Aegten NV worden hieronder beschreven en vergeleken met de eerder beschreven beperkingen uit de literatuur. Deze beschrijving gebeurt voor de verschillende relevante vervoerstypes. De algemene beperkingen komen eerst aan bod, om daarna over te gaan naar de verschillende ladingsbeperkingen. Wanneer de (ladings)beperking hetzelfde weergeeft voor de verschillende types voertuigen, wordt de beperking voor deze types samen beschreven, anders apart.

4.2.1 Algemene rittenplanningsbeperkingen

Vertrek- en startpunt

Alle chauffeurs van het bedrijf Aegten NV wonen zeer dicht bij de firma. Omwille van deze reden wordt het niet als relevant beschouwd dat de chauffeurs de voertuigen mee naar huis kunnen nemen om de volgende dag rechtstreeks te kunnen leveren. Zo zijn het vertrek- en startpunt hetzelfde. Deze beperking geeft hetzelfde weer als de literatuur omschrijft.

Één route per vrachtwagen

Elke vrachtwagen legt binnen de rittenplanning één route af. De route begint en eindigt, zoals hierboven weergegeven, bij het bedrijf. Deze beperking komt overeen met de literatuur. De extra beperking die sommige onderzoekers opnemen in de literatuur, elke vrachtwagen moet worden gebruikt (Alba et al., 2011; Carrabs et al., 2007; Iori & Martello, 2007; Leung et al.; Tricoire et al., 2011), is bij het bedrijf Aegten NV niet van toepassing.

Maximale duur van de route

Zoals weergegeven onder de toegepaste vuistregels, bevinden sommige klanten zich geografisch ver van het bedrijf. Deze routes nemen vaak een relatief grote tijdsperiode in beslag. Om binnen de rij- en rusttijden te blijven, kunnen deze routes niet op het einde van de werkdag gepland worden. De rusttijd bevat onder andere de middagpauze. Het is ook mogelijk dat de chauffeur een kleine tijdsperiode (bijvoorbeeld: een vijftal minuten) extra blijft stilstaan bij een klant zodat de chauffeur voldoende rust heeft genomen. De tijdsperiode waarin de container in- en uitgeladen wordt, telt niet mee bij de rusturen, dit zijn werkuren. Wanneer het voertuig bij Aegten NV komt laden, wordt deze vaak geladen door een andere persoon dan de chauffeur. Op deze manier kan de chauffeur zijn rusturen opnemen en wordt geprobeerd om de rij- en rusturen optimaal te benutten. Verder bestaat de mogelijkheid dat een voertuig meerdere ritten afwerkt op één dag. De rittenplanning wordt namelijk voor elk voertuig in de rittenplanning opgesteld, maar wanneer een voertuig terugkeert bij Aegten NV, kan dit voertuig nog een extra rit uitvoeren. De maximale duur van de route wordt dus beperkt door de rij- en rusttijden, wat overeenkomt met de beschreven literatuur.

Heterogene vrachtwagens

Aegten NV beschikt over verschillende types van voertuigen. Zo is elke vertegenwoordiger, in het totaal zes werknemers, uitgerust met een camionette. Elke vertegenwoordiger bezoekt met deze camionette zijn klanten. Deze vertegenwoordigers zoeken hun klanten normaal op voor het verstrekken van advies en nemen vaak van verschillende producten enkele exemplaren mee, zodat de klant die een kleine hoeveelheid hiervan wenst direct geholpen kan worden. Dit soort bezoek is niet relevant voor de beschreven rittenplanning met ladingsbeperkingen. Deze personen treden ook vaak op bij gedeelde leveringen. Wanneer enkele producten niet bij de eerste levering konden worden geleverd, door bijvoorbeeld een tekort in de stock, neemt de vertegenwoordiger deze vaak mee, omdat hij toch nog bij de klant moet passeren (voor bijvoorbeeld advies). Dit zijn losse eenheden, vaak melkpoeder, zaden, ... Deze functie van de vertegenwoordiger is wel relevant binnen deze masterproef.

Tabel 5 geeft de verschillende transportmiddelen weer samen met zijn relevante types laadeenheden. Sommige voertuigen kunnen verschillende types laadeenheden transporteren, maar verschillende types worden in praktijk nooit samen vervoerd. Bij elk transporttype wordt het laadvermogen getoond.

Tabel 5: Laadeenheden met relevante transporttypes

Laadeenheid met laadvermogen\ transportmiddel	1 Camionette: 1,250 ton	1 Camionette met gesloten laadbak: 2 ton	2 Vrachtwagens met oppompebaar platform: 10/11 ton	1 Vrachtwagen met laadklep: 7 ton	1 Oplegger (bulk): 30 ton
Zakcontainer			√	√	
Bulk					√
Dozen + losse eenheden	√	√	(√)		
Paletten			√	√	

Één camionette van hetzelfde type is verder nog beschikbaar voor het dagelijks transport. Dit transport bevat enkel losse eenheden van producten of dozen sproeistoffen (geen transport met behulp van een pallet mogelijk) en bereikt gemiddeld een vijftal klanten per rit. Deze losse eenheden kunnen in principe alle goederen zijn, exclusief de goederen vervoerd per bulk of (zak)container. Alle goederen moeten bij het gebruik van dit transporttype manueel in- en uitgeladen worden. Het bedrijf beschikt ook over één camionette met een gesloten laadbak. Deze wordt enkel ingezet in het drukke seizoen voor het vervoeren van verschillende maïszaden en sproeistoffen. Ook hier kunnen de eenheden enkel los of per doos vervoerd worden. Het nadeel van dit transport is dat het laden en lossen ook bij dit transporttype manueel moet gebeuren, wat zeer tijdrovend is. Het transport door gebruik te maken van deze verschillende camionetten is relevant voor rittenplanning met ladingsbeperkingen.

Een andere mogelijkheid van transport bevindt zich in het gebruik van twee vrachtwagens, uitgerust met een platform dat omhoog gepompt kan worden. De vrachtwagens kunnen in één rit een tiental klanten bereiken en zijn geschikt voor het vervoeren van zowel zakcontainers als goederen gestapeld op paletten. Als eerste wordt het transport van de zakcontainers beschreven. Wanneer de vrachtwagen met zijn platform onder de zakcontainer rijdt, wordt het platform omhoog gepompt tot de container de grond niet meer raakt. Vervolgens worden de poten van de container vertikaal omgekeerd en zakt het platform terug. Het lossen van deze containers gebeurt op de omgekeerde manier. Één van deze twee vrachtwagens is uitgerust met een kraan en heeft een laadvermogen van tien ton. De andere vrachtwagen zonder kraan heeft een laadvermogen van elf ton. De vrachtwagens kunnen maximaal drie containers laden. De planner tracht de rit zo te plannen dat eerst de volle containers geleverd worden aan één, twee of drie klanten, om daarna één of meerdere klanten te bezoeken om één of meerdere lege containers op te pikken. Op het platform van beide vrachtwagens kunnen ijzeren schotten gemonteerd worden op de zijkant. Hierdoor is het mogelijk om dit type van vrachtwagen te gebruiken voor het vervoeren van goederen op paletten. Deze paletten zijn aflaadbaar met respectievelijk de kraan of een heftruck. Beide vrachtwagens zijn ook uitgerust met een kleine laadbak, waarin een hele kleine hoeveelheid goederen vervoerd kunnen worden (bijvoorbeeld: het vervoeren van honderd kilo melkpoeder in combinatie met de zakcontainers). Zowel het transport van de zakcontainer als het transport van de goederen op paletten is relevant voor deze masterproef.

Verder beschikt Aegten NV over één kleine vrachtwagen, uitgerust met een laadklep achteraan. De vrachtwagen mag maximaal een massa van zeven ton laden en wordt gebruikt voor het vervoeren van goederen op paletten. Het lossen van de goederen gebeurt als volgt: de goederen worden tot op het laadvlak gereden met behulp van een transpallet en dit laadvlak zakt tot op de grond. De goederen worden vervolgens vervoerd met een heftruck of een transpallet. Aangezien ook deze vrachtwagen beschikt over een oppompbaar platform, is het ook met deze vrachtwagen mogelijk om enkele zakcontainers met meststoffen te transporteren. Beide transporttypes zijn relevant voor rittenplanning met ladingsbeperkingen.

Tot slot beschikt het bedrijf Aegten NV over één oplegger (bulk) met een totale laadcapaciteit van dertig ton. Deze oplegger bevat vijf verschillende compartimenten, drie compartimenten van 9200 kilogram en twee compartimenten van 5200 kilogram, en wordt vooral ingezet voor het transport richting Nederland voor het leveren van verschillende mengelingen meststoffen. De bulk kan worden gebruikt wanneer de landbouwers een opslagsilo hebben waar de meststoffen ingeblazen en opgeslagen worden. Deze meststoffen worden vanuit de bulkwagen in de silo geblazen. Wanneer geen opslagsilo beschikbaar is, kan gekozen worden voor een levering met behulp van een zakcontainer. Doordat de bulk verschillende compartimenten bevat is het mogelijk om verschillende klanten in één rit te bereiken. Dit transporttype is relevant voor rittenplanning met ladingsbeperkingen.

Één vrachtwagen per klant

De planner probeert de rittenplanning zo op te stellen dat elke klant slecht één keer bezocht moet worden. Om twee redenen is dit echter soms niet mogelijk: door capaciteitsbeperkingen van het voertuig of doordat enkele van de gevraagde producten niet in voorraad zijn. Bij beide problemen wordt geprobeerd om de goederen zo snel mogelijk bij de klant te krijgen. Eerst wordt via telefonisch contact met de klant gekeken of de gevraagde producten dringend zijn of niet. Aan de hand hiervan wordt beslist of de klant ingepland wordt in een rit met andere klanten in de buurt of dat een extra rit, uitzonderlijk voor deze klant, wordt ingevoerd. Ten derde is het ook mogelijk dat de goederen meegenomen worden door een vertegenwoordiger, zoals eerder werd weergegeven. Dit is niet mogelijk bij de bulkgoederen. Het transport wordt in alle drie de gevallen slechts één maal doorgerekend. Ook deze beperking geeft meestal hetzelfde als de beschreven literatuur weer.

Tijdsvensters bij klanten

Aegten NV probeert zijn klantvriendelijkheid zo hoog mogelijk te houden. Wanneer de klant een tijdspanne opgeeft waarin de levering wenst plaats te vinden, wordt getracht om hieraan te voldoen. Hiervoor ondergaat de rittenplanning vaak grote wijzigingen. Deze tijdsvensters variëren zeer fel. Zo plaatsen bepaalde klanten hun bestelling twee maanden op voorhand, terwijl anderen dit enkele werkdagen voor de gewenste levering doen. Wanneer geen tijdspanne aangegeven wordt door de klant, weet de planner door zijn ervaring welke goederen (meestal) snel geleverd moeten worden en welke niet. Zo is bijvoorbeeld een levering van melkpoeder vaak urgenter dan een levering van zaden. De tijdsvensters bij klanten van de firma Aegten NV worden vooral uitgedrukt in werkdagen, waardoor niet de volgorde van de route van belang is, maar welke klant op welke werkdag bezocht wordt. In de literatuur gaat het echter vaak over tijdsvensters in uren, waarbij de volgorde van de route wel van belang is. De tijdsvensters bij klanten komen dus slechts gedeeltelijk overeen met de tijdsvensters bij klanten beschreven in de literatuur. De tijdsvensters bij de leveranciers zijn net als de zachte tijdsvensters bij klanten niet van toepassing bij het bedrijf.

Backhaul

Twee verschillende leveringsmethoden zijn relevant bij backhaul, namelijk: levering via de zakcontainers of levering via paletten. Bij de levering met behulp van de zakcontainers geeft de landbouwer telefonisch weer wanneer de container leeg is. Het ophalen van de container wordt vervolgens ingepland in een rit. Dit moet op het einde van de rit zijn. Wanneer de goederen geleverd worden op paletten, wordt een onderscheid gemaakt tussen verschillende types van pallet. Aegten NV beschikt over drie verschillende types: een EURO pallet, een wegwerppallet of een kunststofpallet. Wanneer de goederen geleverd worden op een wegwerppallet, mag de klant deze pallet houden. Hierbij is backhaul niet relevant. Wanneer de goederen op een ander type pallet geleverd worden, wordt dit genoteerd door de chauffeur en doorgegeven aan de planner. Deze paletten worden terug meegenomen bij een volgende levering, bij een bezoek van de vertegenwoordiger of wanneer het ophalen hiervan past in een andere rit (dit houdt in wanneer

deze rit zich geografisch gezien niet ver van de klant bevindt). Ook hier wordt de LIFO strategie toegepast. Men probeert de paletten zo op te halen dat ze later in de rit niet extra uitgeladen moeten worden voor het lossen van andere producten. Deze paletten nemen echter geen al te groot volume in binnen de laadruimte. Deze beperking is overeenkomstig met de beschreven literatuur voor de levering via de zakcontainers en de levering van een kunststof- of EURO pallet.

4.2.2 Ladingsbeperkingen binnen de rittenplanning

Beperkingen container

Bijna elk voertuig in de heterogene vloot heeft een ander toegestaan laadvermogen, zoals tabel vijf weergeeft. De planner zorgt er altijd voor dat de massa van de te laden goederen niet groter is dan toegestaan.

Bij het gebruik van een zakcontainer wordt rekening gehouden met het volume van de container, met de lengte, breedte en de hoogte. Hetzelfde geldt voor het transport van de bulkgoederen. Bij het gebruik van paletten is dit niet het geval. Paletten met goederen erop gestapeld worden niet op elkaar gestapeld. De reden hiervoor is dat deze stapels dan moeilijk te lossen zijn. Zo blijft de stabiliteit ook zo hoog mogelijk. Bij dit transporttype wordt verondersteld dat de goederen die op de pallet gestapeld zijn niet van de pallet af kunnen vallen. Hier wordt dus abstractie gemaakt van de hoogte. Bij het opstellen van een rittenplanning met betrekking tot de dozen met sproeistoffen en enkele losse goederen worden zowel de lengte, breedte en hoogte in rekening gebracht. De dozen van de sproeistoffen kunnen hierbij vervangen worden door plastic bakken, zoals eerder werd weergegeven. Vergeleken met de literatuur worden de gewichtsbeperkingen altijd opgenomen bij het opstellen van de rittenplanning (Gendreau et al., 2006; Leung et al., 2013). Het transport met behulp van paletten maakt abstractie van de hoogte, terwijl de andere transportmethoden het probleem driedimensionaal bekijken.

Minimale oppervlakte

De goederen moeten zo gestapeld worden zodat de totale gebruikte lengte minimaal is. Deze beperking is niet relevant voor het transport met behulp van de zakcontainers of het transport van de bulkgoederen, de verschillende mengelingen meststoffen, maar wel voor het transport met behulp van paletten of het transport van de losse eenheden en de dozen met sproeistoffen. De goederen worden zo ingeladen dat de open ruimtes zo klein mogelijk worden gehouden of zelfs worden vermeden. Op deze manier wordt het totale laadoppervlak optimaal benut. Deze beperking is enkel in lijn met de eerder beschreven theorie bij het transport met behulp van paletten of het transport van de losse eenheden of de dozen met sproeistoffen.

Oriëntatie goederen

Deze ladingsbeperking is niet relevant voor het transport met zakcontainers en het transport van de bulkgoederen. Deze producten kunnen namelijk niet georiënteerd worden met een bepaalde zijde naar de voorkant van de container. Dit is wel mogelijk voor het transport van paletten, maar de beperking wordt niet toegepast. De goederen op de paletten worden zo ingeladen dat de horizontale stabiliteit gemaximaliseerd wordt. Deze stabiliteit handelt over de weerstand van de inertie van het eigen voorwerp. In de literatuur werd soms aangenomen dat de paletten slechts langs voor of achter opgenomen kunnen worden. Deze beperking geldt niet bij het transport met behulp van paletten, waar Aegten NV ervan uitgaat dat de paletten langs alle vier de zijden geladen kunnen worden. Zoals eerder weergegeven wordt de assumptie gemaakt dat de goederen gestapeld op een pallet niet kunnen omvallen of verschuiven. Voor de dozen met sproeistoffen en de losse eenheden geldt bij deze ladingsbeperking hetzelfde als voor het transport met behulp van paletten.

De verticale stabiliteit is enkel van toepassing wanneer goederen ook in de hoogte gestapeld worden. Dit gebeurt wanneer een klant met een kleine bestelling aan de rit wordt toegevoegd wanneer de vrachtwagen (bijna) geladen is. Hierbij gaat het over losse eenheden. De chauffeur plaatst deze goederen zo dat het schuiven ervan minimaal is. Deze beperking geldt ook voor het transport van de dozen en de losse goederen. De beperking geldt dus niet voor het transport van de zakcontainers en de bulkgoederen.

Beide types van stabiliteit worden door de firma Aegten NV als belangrijkste ladingsbeperkingen gezien. Het bedrijf tracht ten allen tijde te vermijden dat de goederen beschadigd kunnen worden door verschuivingen of door om te vallen. Het LIFO principe kan (deels) opzij worden gezet om de stabiliteit te verhogen.

Aard goederen

De aard van de goederen dient niet in rekening te worden gebracht bij het transport met zakcontainers. De oplegger voor het transport van de bulkgoederen heeft verschillende compartimenten. Zo kunnen vijf verschillende mengelingen van meststoffen tegelijk worden vervoerd, wat overeen stemt met de beschreven theorie. Ook bij het transport van de sproeistoffen is een overeenkomst met de literatuur aanwezig. De sproeistoffen moeten namelijk in afgesloten ruimtes van elkaar vervoerd worden. Normaal worden deze gewasbeschermingsmiddelen vervoerd in kartonnen dozen. Deze dozen, overdozen, zijn gekeurd en bieden een beschermende laag wanneer de sproeistoffen zich zouden verspreiden. Verschillende soorten kunnen namelijk onderling reageren of zijn op zich schadelijk. De sproeistoffen zitten echter meestal met meerdere eenheden verpakt in een doos (vaak in flessen). De klant bestelt niet altijd een hele doos van het product, maar kunnen wensen om slechts één eenheid te ontvangen. Dit zorgt ervoor dat de kartonnen doos geen bescherming meer biedt aan de omgeving. Om dit op te vangen werkt Aegten NV met een speciale afgesloten plastic bak waarin de sproeistof vervoerd wordt. Deze bak, een erkende ADR-verzamelbox, biedt een soortgelijke bescherming dan de gekeurde kartonnen doos.

Op deze manier bevinden de producten zich in afgesloten ruimtes tijdens het transport, zoals het omschreven wordt in de literatuur.

Bij het transport op paletten worden de paletten, wanneer de goederen erop gestapeld zijn, niet op elkaar gezet. Dit heeft niets te maken met de aard van de goederen, maar met de losbaarheid ervan. De aard van de goederen bij het transport van deze producten is niet van toepassing zoals omschreven in de eerder besproken literatuur.

LIFO filosofie

Bij deze beperking kan abstractie worden gemaakt van het transport met behulp van zakcontainers. Zoals eerder beschreven probeert de planner de container in te laden zodat het uitladen van de container kan gebeuren zonder het herpositioneren van goederen, het LIFO principe. Dit geldt zowel voor het transport met behulp van paletten als voor het transport van de losse eenheden of de sproeistoffen in dozen. Dit principe wordt echter (deels) verwaarloosd om de stabiliteit van de lading te optimaliseren.

Verder geldt de beperking dat de goederen slechts in- en uitgeladen kunnen worden langs één deur. Voor zakcontainers is deze assumptie irrelevant, terwijl deze voor het transport van de bulkgoederen wel relevant is. De verschillende compartimenten in deze container zijn volledig van elkaar afgesloten, waardoor het LIFO principe altijd moet worden toegepast. De dozen met worden meestal vervoerd met de camionette of de camionette met laadbak. Voor deze voertuigen gaat de assumptie van het in- en uitladen langs één deur op, wat niet het geval is voor het transport met behulp van paletten. De vrachtwagen met laadklep en de twee vrachtwagens met oppompbaar platform beschikken namelijk over de mogelijkheid om de goederen langs achteren of vanaf de zijkant te laden en te lossen.

Rechthoekige goederen

Dit probleemaspect geldt bij het transport met behulp van paletten en bij het transport van de sproeistoffen. De paletten enerzijds en de gekeurde dozen of kunststofpaletten anderzijds zijn allemaal rechthoekig. De open ruimtes kunnen bij het inladen van rechthoekige goederen makkelijker worden geminimaliseerd (zie ladingsbeperkingen binnen de rittenplanning: minimale oppervlakte). Deze ladingsbeperking komt volledig overeen met de literatuur voor deze types van transport.

Manier van stapelen van goederen

Deze beperking geldt niet voor het transport met behulp van zakcontainers of het transport van goederen in bulk, maar wel bij het transport van de dozen of van losse eenheden. Het stapelen van de goederen wordt volgens het LIFO principe gedaan, rekening houdend met de twee types van stabiliteit van de goederen. Bij het transport met behulp van paletten is deze beperking in enkele gevallen van toepassing wanneer een kleine bestelling van een klant tijdens het inladen van de

goederen nog aan de rit wordt toegevoegd. De goederen worden soms bovenop de andere goederen gestapeld. Met het blote oog wordt ingeschat of de stabiliteit van de goederen hoog genoeg is. Deze beperking wijkt hierdoor sterk af van de beschreven literatuur voor deze types van transport.

4.3 Vergelijking met problemen uit de literatuur

Tabel 6 geeft een overzicht van de verschillende transporttypes met zijn relevante algemene beperkingen en ladingsbeperkingen. Wanneer een beperking slechts gedeeltelijk overeenkomt met de beschreven literatuur, wordt deze beperking tussen haakjes weergegeven. Een onderscheid wordt gemaakt tussen het transport van de verschillende types paletten, aangezien dit een betere vergelijking met de problemen uit de literatuur met zich meebrengt.

Tabel 6: Verschillende transporttypes met ladingsbeperkingen

Transporttype\ (Ladings)beperking	Vertrek- en startpunt	Één route per vrachtwagen	Maximale duur van de route	Heterogene vrachtwagens	Één vrachtwagen per klant	Tijdsvensters bij klanten	Backhaul	Beperkingen container	Minimale oppervlakte	Oriëntatie goederen	Aard goederen	LIFO filosofie	Rechtshoekige goederen	Manier van stapelen van de goederen
Zakcontainer	√	√	√	√	√	√	√	√						
Bulk	√	√	√		(√)	(√)		√			√	(√)		
Dozen + losse eenheden	√	√	√	√	√	√		√	√	√	(√)	√	√	√
EURO of kunststofpallet	√	√	√	√	√	√	√	√	√	(√)		√	√	
Wegwerppallet	√	√	√	√	√	√		√	√	(√)		√	√	

Alle algemene beperkingen die werden besproken in de literatuur hebben betrekking op het transport met behulp van zakcontainers. Bij de ladingsbeperkingen is dit niet het geval, waar enkel de beperkingen van de container relevant zijn. Dit transporttype komt met zijn ladingsbeperkingen volledig overeen met het CVRP (capacitated vehicle routing problem), hoewel het probleem meer lijkt op een pickup and delivery problem, omwille van de backhaul. Geen enkel pickup and delivery problem uit de literatuur neemt echter de beperkingen van de container op als ladingsbeperking, zodat het vergelijken van dit transporttype met de literatuur moeilijk is.

Het transport van de bulkgoederen wordt iets uitgebreider besproken, aangezien een week van deze rittenplanning in de volgende sectie geanalyseerd wordt. Enkele algemene beperkingen beschreven in de literatuur zijn relevant voor dit transporttype, namelijk: vertrek- en startpunt, één route per vrachtwagen, de maximale duur van de route en één route per vrachtwagen. Deze

laatste beperking wordt verzwakt, waarbij verschillende producten door meerdere vrachtwagens aan één klant mogen worden geleverd (El Fallahi et al., 2008). Reed et al. (2014) nemen de tijdsvensters bij klanten op als extra beperking. De beperkingen van de container, de aard van de goederen en de LIFO filosofie zijn de relevante ladingsbeperkingen bij dit transporttype. Deze ladingsbeperkingen komen overeen met het MC-VRP (multi-compartment vehicle routing problem), met uitzondering van de LIFO filosofie. Bij het transport van de bulkgoederen worden echter twee algemene beperkingen in rekening gebracht die (deels) niet overeenstemmen met dit probleem, namelijk één vrachtwagen per klant en de tijdsvensters bij klanten. Onderstaande tabel vergelijkt dit transporttype met de relevante literatuur.

Tabel 7: Vergelijking bulkwagen - relevante literatuur

Transporttype/ (ladings)beperking	Vertrek- en startpunt	Één route per vrachtwagen	Maximale duur van de route	Één vrachtwagen per klant	Tijdsvensters bij klanten	Beperkingen container	Aard goederen	LIFO filosofie
Bulk	√	√	√	(√)	(√)	√	√	(√)
El Fallahi et al. (2006)	√	√	√	(√)		√	√	
Mendoza et al. (2010)	√	√		√		√	√	
Muyldermans & Pang (2010)	√	√	√	(√)		√	√	
Reed et al. (2014)	√	√		√	√	√	√	

Het transport van de dozen en de losse eenheden brengt alle ladingsbeperkingen die aan bod kwamen in de literatuur in rekening. Het LIFO principe wordt soms (deels) opzijgeschoven ten voordele van de stabiliteit. Dit transporttype brengt alle algemene beperkingen in rekening, met uitzondering van backhaul. Dit transporttype toont de grootste overeenkomst met het 3L-CVRP (three-dimensional loading capacitated vehicle routing problem). Dit probleem neemt dezelfde algemene beperkingen op als dit transporttype, met uitzondering van de maximale duur van de route en de heterogene vloot van vrachtwagens. De tijdsvensters bij klanten worden niet door alle papers opgenomen die dit probleem hebben beschreven in de literatuur. Dit probleem neemt alle ladingsbeperkingen op, met uitzondering van de oriëntatie van de goederen. Deze ladingsbeperking wordt echter als de belangrijkste ladingsbeperking gezien bij het bedrijf Aegten NV, om de stabiliteit van de goederen zo hoog mogelijk te houden. Dit transporttype komt dus gedeeltelijk overeen met het 3L-CVRP uit de literatuur.

Alle algemene beperkingen uit de literatuur hebben betrekking op het transport met behulp van de paletten, waarbij backhaul enkel relevant is voor de EURO paletten en de kunststofpaletten. Dit geldt niet voor de ladingsbeperkingen, waar de aard van de goederen en de manier van stapelen van de goederen niet relevant zijn voor dit transporttype. De oriëntatie van de goederen geldt verder enkel voor de horizontale stabiliteit van de goederen. Dit transporttype wordt opgesplitst in

twee types voor de vergelijking met de literatuur: het transport van de kunststofpaletten en de EURO paletten waarvoor backhaul geldt en het transport van de wegwerppaletten.

Het transport met behulp van de kunststof- en de EURO paletten komt het beste overeen met het 2L-PDVRP (pickup and delivery vehicle routing problem with two-dimensional loading constraints). Alle ladingsbeperkingen zijn hetzelfde als in de literatuur, met uitzondering van de oriëntatie van de goederen: de horizontale stabiliteit. De stabiliteit in de container is echter de ladingsbeperking die primeert binnen de rittenplanning van de firma. Bij de algemene beperkingen wordt in de literatuur bij het 2L-PDVRP geen rekening gehouden met de maximale duur van de route, de heterogene vloot van vrachtwagens en de tijdsvensters bij klanten, terwijl dit transporttype hier wel rekening mee houdt.

Het transport met behulp van de wegwerppaletten komt het best overeen met het 2L-HFVRP (heterogeneous fleet vehicle routing problem with 2-dimensional constraints). Dit probleem omvat dezelfde ladingsbeperkingen als het 2L-PDVRP dat hierboven werd beschreven, waardoor ook hier de oriëntatie van de goederen: horizontale stabiliteit de enige afwijking van de ladingsbeperkingen is van dit probleem. Bij de algemene beperkingen zijn meerdere afwijkingen aanwezig. De maximale duur van de route en de tijdsvensters bij klanten worden bij het probleem uit de literatuur niet opgenomen, terwijl dit bij het praktijkprobleem wel het geval is.

4.4 Analyse rittenplanning bulkwagen

Voor dit onderdeel van deze masterproef wordt verder gewerkt met één deel van de rittenplanning, namelijk de rittenplanning van de bulkwagen. Deze bulkwagen is sinds kort in het bezit van Aegten NV, waardoor het logisch is om deze rittenplanning van naderbij te bestuderen. Het doel van de rittenplanning van dit transporttype is tweeledig: ten eerste wordt getracht om de totale transportkosten te minimaliseren door de totale afstand te minimaliseren. Aegten NV veronderstelt dat het minimaliseren van het aantal kilometers zorgt voor de laagste totale tijd. Deze veronderstelling houdt in dat de laagste tijd de laagste kosten impliceert. Ten tweede wordt geprobeerd om altijd aan de wensen van de klanten te voldoen door binnen de tijdsvensters van de klanten te leveren. Op deze manier wordt getracht om de tevredenheid van de klanten zo hoog mogelijk te houden.

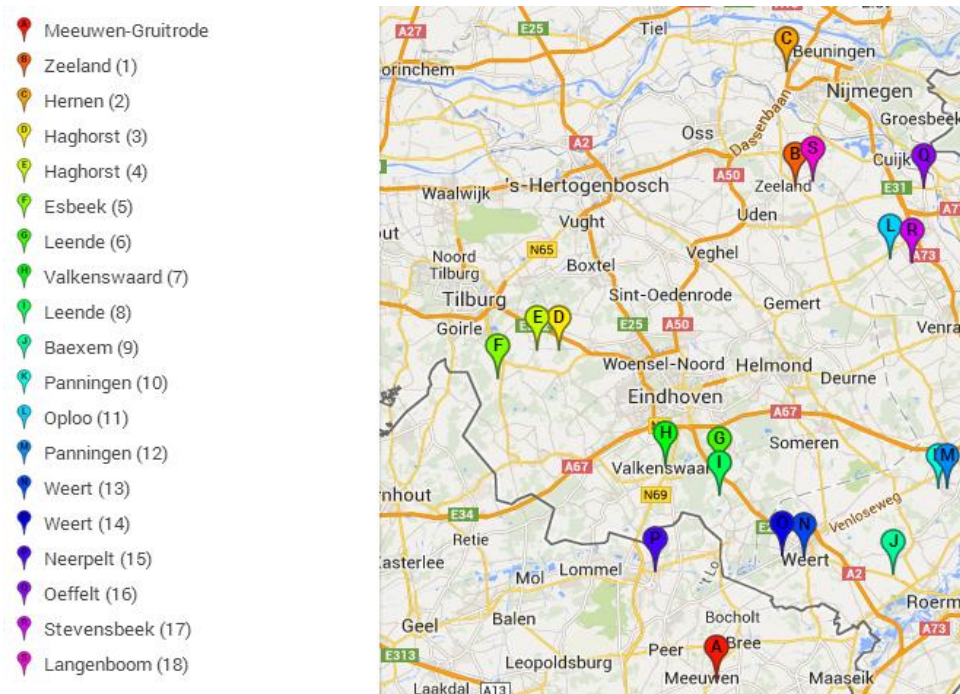
Voor deze analyse wordt gekeken naar de rittenplanning van één week die wordt weergegeven in tabel 8. In deze rittenplanning worden achttien klanten bezocht in zeven verschillende ritten. De locatie van de klanten wordt op figuur 3 getoond. Hiervan bevinden zich zeventien klanten in Nederland en één klant in België. Klant vijftien is de enige Belgische klant. Deze leveringen worden in tabel 8 weergegeven, samen met de gewenste hoeveelheid en de laatste leverdatum. De dag waarop de levering heeft plaatsgevonden wordt in de eerste kolom aangegeven. De naam van het bestelde product wordt niet getoond, omdat dit niet relevant is voor deze analyse. Het compartiment dat als eerste wordt weergegeven bevindt zich achteraan de bulkwagen. Wanneer de meststoffen volgens het LIFO principe worden uitgeladen, moeten de meststoffen uit dit

compartiment als eerste gelost worden. De tijdsvensters geven de laatst mogelijke leveringsdatum van de klant aan. De goederen moeten dus ten laatste op deze datum worden geleverd. De laatste kolom toont de afstand van elke rit. De totale afstand van deze rittenplanning bedraagt 1027,8 kilometer.

Tabel 8: Overzicht oorspronkelijke rittenplanning

Ritnr.	Datum	Locatie (klantnummer)	Massa (kg)	9.2 ton	5.2 ton	9.2 ton	5.2 ton	9.2 ton	Tijdsvenster	Totale afstand (km)
1	17/mrt	1	6040	√					18/mrt	
	17/mrt	2	11800		√	√			18/mrt	
	17/mrt	3	10060				√	√	18/mrt	251,5
2	17/mrt	4	6020	√					18/mrt	
	17/mrt	5	9980		√	√			18/mrt	
	17/mrt	5	4540				√		18/mrt	139,3
3	18/mrt	6	7980	√					18/mrt	
	18/mrt	7	9960		√	√			18/mrt	
	18/mrt	8	11820				√	√	18/mrt	92,6
4	18/mrt	9	14320	√	√				18/mrt	
	18/mrt	10	8040			√			18/mrt	
	18/mrt	11	4020				√		18/mrt	170,1
5	20/mrt	12	7100	√					21/mrt	
	20/mrt	13	12000		√	√			21/mrt	
	20/mrt	14	10020				√	√	21/mrt	103,8
6	20/mrt	15	8000	√					20/mrt	44,6
7	21/mrt	16	8280	√					21/mrt	
	21/mrt	17	1040		√				21/mrt	
	21/mrt	18	11980			√	√		21/mrt	225,9

De locatie van elke klant wordt op figuur 3 weergegeven. Hiervoor wordt enkel gewerkt met het dorp van de klant, om de privacy van de klant niet te schenden. Het cijfer achter het dorp geeft het nummer van de klant aan. Met dit cijfer wordt verder gewerkt in het algoritme. In het eerste dorp, Meeuwen-Gruitrode, bevindt het bedrijf Aegten NV zich. Hier start en eindigt elke route. Deze figuur is nuttig om twee redenen: ten eerste kan gekeken worden of de rit logisch is opgebouwd, met andere woorden of de volgorde van leveren binnen de rit logisch is opgesteld. Ten tweede kan geschat worden of een andere klant niet beter in deze rit zat. Het gaat hier echter enkel om schattingen. De onderlinge afstanden zijn berekend aan de hand van Google Maps. Deze onderlinge afstanden staan omschreven in de tabel in bijlage 1.



Figuur 3: Klanten Aegten NV

Vervolgens wordt getracht om de rittenplanning te verbeteren aan de hand van een methode. Deze methode wordt gekozen uit één van de papers die handelen omtrent MC-VRP. Deze papers staan samen met de (ladings)beperkingen beschreven in tabel 7. Reed et al. (2014) beschrijven enkel het probleem, zonder een methode toe te passen. Mendoza et al. (2010) passen daarentegen wel een methode toe, namelijk een memethisch algoritme. In dit algoritme wordt echter uitgegaan van een stochastische vraag. Zo is het mogelijk dat de vraag van de klant tijdens de rit kan veranderen. Deze benadering is voor deze masterproef niet relevant, zodat niet voor deze methode gekozen wordt. El Fallahi et al. (2006) maken gebruik van twee verschillende methodes: een memethisch algoritme en een tabu search methode. In deze paper wordt de rittenplanning echter eerst in een wiskundige notatie omschreven. Aangezien de rittenplanning van Aegten NV deels afwijkt van het probleem omschreven in deze paper, worden, gelet op de moeilijkheidsgraad van deze notatie, de methodes uit deze paper opzijgeschoven. Muyltermans & Pang (2010) beschrijven tot slot een local search algoritme. Het probleem uit deze paper sluit ook het best aan bij het praktijkprobleem. De toepasbaarheid van dit algoritme is groot, zodat in de volgende stap voor deze methode wordt gekozen.

4.4.1 Local search algoritme

Aan de hand van een local search algoritme wordt geprobeerd om de rittenplanning te verbeteren. Het algoritme wordt op dezelfde manier toegepast als in de literatuur (Muyltermans & Pang, 2010). Voor het toepassen van dit algoritme worden twee verschillende modellen opgesteld. Het ene model houdt geen rekening met het LIFO principe. Het lossen gebeurt aan de hand van de verschillende verdeelbuizen. Elk compartiment kan op elk moment gelost worden. Het tweede model houdt wel rekening met deze ladingsbeperking. Zo moet het laatste compartiment als eerste

gelost worden, het voorlaatste als tweede, ... Het laatste compartiment is het compartiment dat zich helemaal achteraan de bulkwagen bevindt. Bij beide modellen is het altijd mogelijk om een willekeurig compartiment leeg te laten in de bulkwagen. Het doel van het opnemen van het tweede model is tweeledig. Ten eerste worden de verdeelbuizen niet (altijd) gebruikt, terwijl ze wel aanwezig zijn, zodat het LIFO principe wel wordt toegepast. Ten tweede is niet elke vrachtwagen uitgerust met verdeelbuizen, zodat het LIFO principe altijd in rekening moet genomen worden.

Het algoritme werkt in drie verschillende stappen. In de eerste stap wordt gekeken of de leveringsvolgorde van de klanten uit dezelfde rit optimaal is. Wanneer dit niet het geval is, kunnen klanten onderling van plaats worden verwisseld. Op deze manier worden ze eerder of later in de rit bezocht. In stap twee kunnen klanten worden toegevoegd aan een rit. Hiervoor moet minstens één compartiment leeg zijn om een klant te kunnen toevoegen aan de rit. Het toevoegen van een klant aan een rit gebeurt wanneer de massa van de lading niet groter is dan 30 ton en wanneer de totale afgelegde afstand daalt. De klant verwisselt dus eigenlijk van route. De klant wordt uit één rit gehaald en aan een andere toegevoegd. Hierbij wordt stap één meteen toegepast. Zo wordt meteen de optimale route van elke rit weergegeven. In de laatste stap worden klanten tot slot verwisseld tussen twee routes. Ook bij deze stap moet onder andere opnieuw naar de totale massa van elke lading gekeken worden. Voor het algoritme toegepast kan worden, worden enkele assumpties gemaakt. Bij deze gemaakte assumpties wordt eerst uitgelegd hoe de algemene kenmerken en de ladingsbeperkingen van de rittenplanning geïmplementeerd zijn in het algoritme. Vervolgens worden enkele gemaakte, logische assumpties toegelicht.

Zoals eerder werd weergegeven, zijn verschillende algemene kenmerken van een rittenplanning uit de literatuur relevant voor de rittenplanning van de bulkwagen. Zo moet elke rit zowel starten als eindigen bij het bedrijf Aegten NV. Hierbij moet rekening worden gehouden met de duur van de dag. Zo wordt verondersteld dat alle ritten met de bulkwagen door één chauffeur worden uitgevoerd. Deze is beperkt door de rij- en rusturen waaraan hij zich strikt moet houden. Hierbij wordt de assumptie gemaakt dat de chauffeur maximaal twee ritten per dag kan uitvoeren. Verder bestellen verschillende klanten een hoeveelheid meststoffen die meerdere compartimenten vult, maar deze hoeveelheid mag niet in verschillende ritten geleverd worden. Elke klant mag namelijk slechts één keer bezocht worden. Esbeek (5) is de enige klant die twee verschillende mengelingen besteld, maar ook deze klant mag slechts één keer bezocht worden. Bij zijn bestelling geeft de klant aan in welke opslagsilo de meststoffen geleverd moeten worden. De aanwezigheid van de klant is dus niet noodzakelijk bij het leveren van de meststoffen. De goederen kunnen dus op elk moment van de dag geleverd worden. Zo is het enige relevante tijdsvenster bij een klant de einddatum waarop de producten geleverd moeten worden.

De bulkwagen heeft drie relevante ladingsbeperkingen: de aard van de goederen, de beperkingen van de container en de LIFO filosofie. De bulkwagen heeft, zoals eerder werd weergegeven, vijf verschillende compartimenten. Zo kunnen vijf verschillende mengelingen meststoffen vervoerd worden in één rit. Elk compartiment heeft een bepaald volume. Drie compartimenten hebben een capaciteit van 9200 kilogram, terwijl de andere twee een capaciteit van 5200 kilogram hebben. De compartimenten bevinden zich in de volgende volgorde: 9200 kilogram, 5200 kilogram, 9200

kilogram, 5200 kilogram en 9200 kilogram. De bulkwagen mag volgens de wet echter slechts dertig ton laden, zodat niet elk compartiment vol geladen kan worden. Tot slot kan de wagen bij het lossen van de meststoffen werken met verschillende verdeelbuizen, zodat het LIFO principe niet moet worden toegepast. Het al dan niet opnemen van deze beperking wordt, zoals eerder werd aangegeven, opgesplitst in de twee modellen. Het is verder onder geen enkele situatie mogelijk om van één van bovenstaande beperkingen af te wijken.

In sommige dorpen bevinden zich twee klanten. De onderlinge afstand tussen deze twee klanten is te vinden in de tabel in bijlage 1. Alle afstanden, buiten de onderlinge afstanden, worden opgevraagd via Google Maps. Vervolgens wordt verondersteld dat de afstand van een route gelijk is aan de afstand van de route die volledig andersom uitgevoerd wordt. Het speelt dus geen enkele rol langs welke kant van de lus de route gestart wordt, al dan niet rekening houdend met het LIFO principe.

4.4.2 Stap 1

In de eerste stap van het local search algoritme worden klanten uit dezelfde route verwisseld. Zo wordt gekeken of de afgelegde afstand van de route verlaagd kan worden. In deze stap moeten enkele beperkingen niet gecontroleerd worden. Zo voldoet de chauffeur altijd aan de rij- en rusturen, aangezien de totaal afgelegde afstand enkel kan dalen ten opzichte van de oorspronkelijke afstand. De levering vindt ook altijd plaats binnen de tijdsvensters van de klanten. De levering van geen enkele klant wordt namelijk van dag verwisseld. Het is ook niet mogelijk om een klant meerdere keren te bezoeken, aangezien elke klant in de oorspronkelijke rittenplanning ook slechts één keer bezocht wordt. Verder blijft de totale massa van de vracht hetzelfde en wordt altijd voldaan aan de maximaal te laden massa van dertig ton. Het algoritme wordt eerst toegepast zonder het LIFO principe. Vervolgens wordt het algoritme opgelost met toepassing van dit principe.

Tabel 9 geeft alle mogelijke verwisselingen weer. In rit twee en zes kunnen geen verwisselingen plaatsvinden. De tweede rit heeft slechts twee verschillende klanten. Aangezien de assumptie geldt dat de omgekeerde rit dezelfde afstand heeft dan de gewone rit, kan geen verbetering aangebracht worden in deze route. Rit zes bevat slechts één klant, zodat deze rit niet verder verbeterd kan worden. De andere ritten bevatten allemaal drie klanten, wat neerkomt op twee andere mogelijke routes.

Wanneer een verwisseling binnen een rit een verbetering met zich meebrengt, wordt de beste verbetering gekozen. Een verbetering vindt plaats wanneer de afstand van de nieuwe route kleiner is dan de afstand van de originele route. De kortste route van deze twee wordt in de laatste kolom weergegeven. De voorlaatste kolom geeft, wanneer een verbetering aanwezig is, deze verbetering weer in kilometers. Het opnemen van het LIFO principe als extra beperking brengt geen andere oplossingen met zich mee. Alle klanten kunnen onderling verwisseld worden zonder het LIFO principe te schaden. Hierbij is het wel mogelijk dat één van de middelste compartimenten leeg ligt in plaats van één van de buitenste, maar dit brengt verder geen problemen met zich mee. De

plaats van de klant in de rit geeft de bezetting van de compartimenten in de bulkwagen weer, maar dan in omgekeerde richting. Zo zit de mengeling meststoffen van de klant die als eerste bezocht wordt in het laatste compartiment of in de laatste compartimenten. Dit is niet noodzakelijk het geval bij het model zonder de LIFO filosofie.

Tabel 9: Stap 1

Ritnr.	Volgorde van bezoek	Oude afstand (in km)	Nieuwe afstand (in km)	Verbetering?	Verbetering (in km)	Beste route
1	D-1-3-2-D	251,5	341,7	Nee		D-1-2-3-D
	D-2-1-3-D	251,5	258,6	Nee		D-1-2-3-D
2	/	139,3				
3	D-6-8-7-D	92,6	87,8	Ja	4,8	D-6-8-7-D
	D-8-6-7-D	92,6	87,8	Ja	4,8	D-8-6-7-D
4	D-9-11-10-D	170,1	172,8	Nee		D-9-10-11-D
	D-10-9-11-D	170,1	203,7	Nee		D-9-10-11-D
5	D-12-14-13-D	103,8	103,8	Geen verschil		D-14-13-12-D
6	/	44,6				
7	D-16-18-17-D	225,9	216,1	Ja	9,8	D-16-18-17-D
	D-18-16-17-D	225,9	208	Ja	17,9	D-18-16-17-D

Zoals in tabel 9 wordt weergegeven, zijn enkele verbeteringen mogelijk door het verwisselen van de klanten binnen enkele ritten. Twee ritten kunnen aan de hand van deze methode verbeterd worden. Bij de derde rit zijn beide alternatieven beter, maar ze zijn indifferent ten opzichte van elkaar. In het verdere vervolg van de analyse zal met de tweede alternatieve rit worden verdergegaan. Zo wordt de klant met de grootste gevraagde massa als eerste bezocht. Aegten NV tracht op deze manier het benzineverbruik zo laag mogelijk te houden. Bij de zevende rit geeft het tweede alternatief de beste verbetering. Met deze twee verbeteringen kan de totale af te leggen afstand dalen met 22,7 kilometer (4,8 km + 17,9 km). Zoals eerder werd weergegeven geeft het opnemen van de LIFO filosofie geen minder goede oplossing. Tabel 10 toont de nieuwe rittenplanning. Met deze rittenplanning wordt in de volgende stap verder gewerkt. De kolommen van de compartimenten tonen aan in welk compartiment de goederen van elke klant zitten.

Tabel 10: Vernieuwde rittenplanning

Ritnr.	Datum	Route	Massa (in kg)	9.2 ton	5.2 ton	9.2 ton	5.2 ton	9.2 ton	Totale afstand (in km)
1	17/mrt	D-1-2-3-D	27900	1	2	2	3	3	251,5
2	17/mrt	D-4-5-D	20540	4	5	5	5		139,3
3	18/mrt	D-8-6-7-D	29760	8	8	6	7	7	87,8
4	18/mrt	D-9-10-11-D	26380	9	9	10	11		170,1
5	20/mrt	D-14-13-12-D	29120	14	14	13	13	12	103,8
6	20/mrt	D-15-D	8000	15					44,6
7	21/mrt	D-18-16-17-D	21300	18	18	16	17		208

4.4.3 Stap 2

Het algoritme gaat verder met de gevonden routes uit stap één. In stap twee kunnen één of meerdere klanten worden toegevoegd aan een rit en worden verwijderd uit hun huidige rit. Het is enkel mogelijk om een klant toe te voegen wanneer de bulkwagen minstens één compartiment leeg heeft. In deze case is het mogelijk om maximaal één klant toe te voegen aan rit twee, vier en zeven. De bulkwagen heeft in geen van deze ritten namelijk meer dan één vrijstaand compartiment. Rit zes beschikt echter over vier vrijstaande compartimenten, zodat nog meerdere klanten aan deze rit toegevoegd kunnen worden. Ook in deze stap mogen slechts twee ritten per dag plaatsvinden en mag elke klant door slechts één vrachtwagen worden bediend. In deze stap moet rekening gehouden worden met de tijdsvensters bij klanten. Zo is het niet mogelijk om een klant toe te voegen aan een rit die op een later tijdstip wordt uitgevoerd dan de uiteindelijke leverdatum die werd gevraagd door de klant. Verder moet voldoende beschikbare capaciteit aanwezig zijn om de klant te kunnen opnemen in de rit. De totale massa mag niet groter zijn dan dertig ton en in de bulkwagen moeten voldoende compartimenten vrij zijn om de goederen in te kunnen blazen.

Tabel 11 geeft alle mogelijke toevoegingen van één of meerdere klanten in elke rit weer. Aan rit één, drie en vijf kunnen geen klanten worden toegevoegd, omdat alle compartimenten in gebruik zijn. Voor elke optie die in tabel 11 wordt weergegeven, zijn de nodige compartimenten vrij in de rit. Zo heeft rit twee nog één compartiment van 9.2 ton vrij, zodat elke klant waarvan de goederen één compartiment innemen kunnen worden toegevoegd aan deze rit. Vervolgens wordt gekeken of de wettelijk toegestane massa niet wordt overschreden. Wanneer dit niet het geval is, wordt de route met de kleinste af te leggen afstand gekozen. Alle mogelijkheden worden bestudeerd in Google maps en de route met de kleinste afstand wordt gekozen. Deze is weergegeven in de vijfde kolom. Deze afstand wordt opgeteld met de afstand van de andere nieuwe rit. De som van deze afstanden wordt vergeleken met de som van de afstanden van de twee oorspronkelijke ritten. Wanneer de som van de afstanden van de twee nieuwe ritten kleiner is dan de som van de twee oorspronkelijke ritten, brengt de verwisseling een verbetering met zich mee.

De grootste verbetering wordt gerealiseerd door klant twaalf toe te voegen aan rit zeven. Met het toevoegen van klant twaalf wordt 46,2 kilometer uitgespaard. Na het toevoegen van deze klant is geen enkel compartiment meer vrij, zodat geen klant meer kan toegevoegd worden aan deze rit. Klant twaalf wordt een dag later bezocht, maar dit zorgt niet voor een schending van de tijdsvensters. Zoals eerder werd weergegeven, kan deze rit ook een dag eerder worden uitgevoerd. Het opnemen van de LIFO filosofie zorgt voor geen verschil in de nieuwe routes, maar wel voor enkele veranderingen in tabel 11. Het aantal mogelijke routes voor een rit is namelijk meestal kleiner. Een voorbeeld hiervan is rit D-15-16-17-12-D. De klanten uit deze rit kunnen niet in deze volgorde bezocht worden zonder het LIFO principe te schenden. Een andere volgorde is wel mogelijk, namelijk D-15-17-16-12-D.

Tabel 11: Stap 2 (zonder LIFO)

Ritnr	Optie	Totale massa per rit	Mogelijk?	Route	Afstand rit 1 (in km)	Afstand andere rit(ten) (in km)	Verbetring?	Verbetring (in km)
2	1	26580	Ja	D-1-4-5-D	229	251	Nee	
	6	28520	Ja	D-4-5-6-D	145	79,4	Ja	2,7
	10	28580	Ja	D-4-5-10-D	198	170	Nee	
	11	24560	Ja	D-11-4-5-D	217	102	Nee	
	12	27640	Ja	D-4-5-12-D	198	54,6	Nee	
	15	28540	Ja	D-4-5-15-D	142	0	Ja	41,9
	16	28820	Ja	D-4-5-16-D	241	202	Nee	
	17	21580	Ja	D-4-5-17-D	222	204	Nee	
4	1	32420	Nee					
	4	32400	Nee					
	6	36340	Nee					
	12	33480	Nee					
	15	34380	Nee					
	16	34660	Nee					
	17	27420	Ja	D-9-10-11-17-D	176	204	Nee	
6	12	15100	Ja	D-12-15-D	120	54,8	Nee	
	12-13	27100	Ja	D-15-12-13-D	120	50,8	Nee	
	12-13-17	28140	Ja	D-15-17-12-13-D	179	257,8	Nee	
	12-14	25120	Ja	D-15-12-14-D	120	50,8	Nee	
	12-14-17	26160	Ja	D-14-12-17-15-D	179	257,8	Nee	
	12-17	16140	Ja	D-15-17-12-D	179	261,8	Nee	
	12-17-16	24420	Ja	D-15-16-17-12-D	198	240,8	Nee	
	12-17-18	28120	Ja	D-15-18-17-12-D	200	282,8	Nee	
	12-16	23380	Ja	D-15-16-12-D	197	250,8	Nee	
	12-18	27080	Ja	D-15-18-12-D	196	192	Nee	
	13	20000	Ja	D-13-15-D	74,4	101	Nee	
	13-14	30020	Nee				Nee	
	13-17	21040	Ja	D-13-17-15-D	176	308	Nee	
	13-17-16	29320	Ja	D-13-17-16-15-D	195	287	Nee	
	13-16	28280	Ja	D-13-16-15-D	194	297	Nee	
	13-18	31980	Nee				Nee	
	14	18020	Ja	D-14-15-D	74,4	101	Nee	
	14-17	19060	Ja	D-14-17-15-D	176	308	Nee	
	14-17-16	27340	Ja	D-14-17-16-15-D	195	287	Nee	
	14-16	26300	Ja	D-14-16-15-D	194	297	Nee	
14-18	30000	Ja	D-14-18-15-D	187	293	Nee		
17	9040	Ja	D-15-17-D	176	207	Nee		
17-16	17320	Ja	D-15-16-17-D	195	186	Nee		
17-18	21020	Ja	D-15-18-17-D	197	191	Nee		
16	16280	Ja	D-16-15-D	194	196	Nee		
16-18	28260	Ja	D-16-18-15-D	207	168	Nee		

	18	19980	Ja	D-18-15-D	187	192	Nee	
7	12	28400	Ja	D-18-16-17-12-D	211	54,6	Ja	46,2
	15	29300	Ja	D-18-16-17-15-D	216	0	Ja	36,6

Tabel 12 geeft de volgende mogelijke verwisselingen weer. Deze tabel komt overeen met tabel 11 zonder rit zeven. De veranderingen waarvoor in tabel 11 geen verbeteringen aangetoond werden, worden in tabel 12 niet meer opgenomen. Rit vijf wordt extra opgenomen in deze tabel, aangezien deze rit na de vorige verwisseling een compartiment van 9,2 vrij heeft.

Tabel 12: Mogelijke verbeteringen

Ritnr.	Optie	Totale massa per rit	Mogelijk?	Route	Afstand rit 1 (in km)	Afstand andere rit(ten) (in km)	Verbetering?	Verbetering (in km)	Optimale route?
2	6	28520	Ja	D-4-5-6-D	145	79,4	Ja	2,7	
	15	28540	Ja	D-4-5-15-D	142	0	Ja	41,9	D-4-5-15-D
5	15	30020	Nee						
	17	23060	Ja	D-14-13-17-D	172	207	Nee		
	16	30300	Nee						

Zoals in tabel 12 wordt weergegeven wordt de volgende grootste verbetering gerealiseerd door klant vijftien toe te voegen aan rit twee. Deze verbetering zorgt voor een daling van 41,9 kilometer in de totale af te leggen afstand. Rit zes valt zo weg. Na het toevoegen van deze klant is geen compartiment meer vrij om nog een klant toe te voegen. Klant vijftien wordt nu drie dagen eerder bezocht. Het algoritme omschrijft dat de methode opnieuw moet uitgevoerd worden, omdat het nu mogelijk is om klanten toe te voegen aan rit zes. Deze rit is echter weggefallen, zodat het opnieuw uitvoeren van de methode hetzelfde resultaat teweeg zou brengen als omschreven staat in tabel 11, met uitzondering van het toevoegen van klant 12 aan rit zeven. Verder zijn in deze stap geen verbeteringen meer mogelijk. De rittenplanning bevat in het totaal nog zes ritten. Deze rittenplanning wordt in tabel 13 weergegeven.

Tabel 13: Vernieuwde rittenplanning

Ritnr.	Datum	Route	Massa (in kg)	9.2 ton	5.2 ton	9.2 ton	5.2 ton	9.2 ton	Totale afstand (in km)
1	17/mrt	D-1-2-3-D	27900	1	2	2	3	3	251,5
2	17/mrt	D-4-5-15-D	28540	4	5	5	5	15	142
3	18/mrt	D-8-6-7-D	29760	8	8	6	7	7	87,8
4	18/mrt	D-9-10-11-D	26380	9	9	10	11		170,1
5	20/mrt	D-14-13-D	22020	14	14	13	13		54,6
6	21/mrt	D-18-16-17-12-D	28400	18	18	16	17	12	211

Zoals wordt aangegeven in tabel 13 blijven rit één, drie en vier onveranderd. Rit zes valt weg doordat klant vijftien wordt toegevoegd aan rit twee. Deze klant wordt zo drie dagen eerder

bezoekt. Ritnummer zeven wordt vanaf nu ritnummer zes. Stap twee zorgt voor een verbetering van 88,1 kilometer. Samen met stap één brengt dit de totale verbetering op 110,8 kilometer ten opzichte van de oorspronkelijke rittenplanning.

Wanneer de mengelingen meststoffen gelost zouden worden volgens het LIFO principe, gaan tabel 11 en 12 op enkele plaatsen veranderen. Een voorbeeld hiervan is het toevoegen van klant één aan de tweede rit. De route van deze rit verandert. Klant één moet als eerste worden bereikt, vervolgens klant vijf en tot slot klant vier (D-1-5-4). Dit zorgt voor een extra af te leggen afstand van vier kilometer. Omdat deze route geen verbetering meebrengt ten opzichte van de oorspronkelijke rittenplanning, verandert dit niets aan de nieuwe rittenplanning. Het toepassen van het LIFO principe zorgt in geen enkele rit voor een verandering in of van de verbeterde rit.

4.4.4 Stap 3

In deze stap wordt verdergegaan op de verbeterde oplossing uit de vorige stap die wordt weergegeven in tabel 13. In stap drie worden klanten verwisseld tussen de routes. Zo wordt één klant uit de route verwijderd en in een andere route toegevoegd. Voor een klant uit deze andere route gebeurt dit tegelijkertijd omgekeerd. Deze klanten dienen in alle ritten, met uitzondering van de laatste twee ritten, hetzelfde aantal en dezelfde types compartimenten te bezetten in de container. In de eerste vier ritten zijn namelijk alle compartimenten in gebruik. In rit vier en vijf is dit niet het geval. In deze ritten worden tot nu toe slechts vier compartimenten gebruikt. Een klant uit deze rit die één compartiment inneemt kan dus verwisseld worden met een klant waarvan zijn mengeling meststoffen twee compartimenten nodig heeft, rekening houdend met de volumes van deze compartimenten.

Ook in stap drie mag elke klant slechts in één rit worden bezocht. Om rekening te houden met de rij- en rusturen van de chauffeur, kan de vrachtwagen maximaal twee ritten per dag uitvoeren. De tijdsvensters bij klanten moeten op dezelfde manier als voordien worden toegepast. Klanten kunnen niet op een latere datum bediend worden dan de laatst gewenste leveringsdag. Zo is het niet mogelijk dat klanten uit de eerste vier ritten verwisseld worden met klanten uit rit vijf en zes, enkel voor de klanten die een tijdsvenster hebben dat overeenstemt met de leveringsdatum van rit vijf of zes. Op deze manier worden de tijdsvensters geaccepteerd. Dit is het geval voor klanten vijftien en zeventien. Deze klanten kunnen ook wisselen met een klant uit rit zes. Deze rit zal wel een dag eerder uitgevoerd moeten worden. Rit vijf en zes zouden bijgevolg op dezelfde dag uitgevoerd moeten worden. Het gaat om twee ritten op één dag, wat mogelijk is volgens bovengenoemde beperkingen. Verder moet in deze stap de capaciteit van beide routes gecontroleerd worden. Beide routes kunnen bij een verwisseling namelijk boven een totaal geladen massa van dertig ton komen. Dit is volgens de wet verboden en zo een verwisseling is dus niet mogelijk. Ook de capaciteit van elk compartiment afzonderlijk moet in acht genomen worden, zodat het volume van de mengelingen niet groter is dan het volume van het compartiment.

Tabel 14: Stap 3 (zonder LIFO)

Ritnr.	Klant	Optie	Massa rit 1	Massa rit 2	Mogelijk?	Route 1	Route 2	Afstand rit 1 (in km)	Afstand rit 2 (in km)	Verbetering?
1	1	4	27880	28560	Ja	D-2-3-4-D	D-1-5-15-D	255	238	Nee
		15	29860	26580	Ja	D-2-3-15-D	D-5-4-15-D	254	240	Nee
		6	29840	27820	Ja	D-3-2-6-D	D-8-1-7-D	251	211	Nee
		10	29900	24380	Ja	D-3-2-10-D	D-9-10-1-D	258	204	Nee
		11	25880	28400	Ja	D-3-2-11-D	D-9-11-1-D	254	195	Nee
	2	7	26060	31600	Nee					
		8	27920	29740	Ja	D-3-1-8-D	D-3-7-6-D	222	153	Nee
		9	30420	24900	Nee					
		10	24140	30140	Nee					
		11	20120	34160	Nee					
	3	7	27800	29860	Ja	D-1-2-7-D	D-6-8-3-D	220	164	Nee
		8	25820	31840	Nee					
		9	32160	23160	Nee					
		10	25880	28400	Ja	D-10-1-2-D	D-9-11-3-D	237	210	Nee
		11	21860	32420	Nee					
2	4	6	30500	27800	Nee					
		10	30560	25400	Nee					
		11	26540	29420	Ja	D-15-5-11-D	D-9-10-17-4-D	218	253	Nee
	15	6	28520	29780	Ja	D-4-5-6-D	D-8-7-15-D	148	84,3	Nee
		10	28580	26340	Ja	D-5-4-10-D	D-9-11-15-D	203	191	Nee
		11	24560	30360	Nee					
		16	28820	27080	Ja	D-4-5-16-D	D-12-18-15-D	241	194	Nee
		12	27640	28260	Ja	D-4-5-12-D	D-18-16-12-D	199	205	Nee
3	7	9	34120	23060	Nee					
		10	27840	28300	Ja	D-8-6-10-D	D-9-11-7-D	130	172	Nee
		11	23820	32320	Nee					
	6	10	29820	27360	Ja	D-7-8-10-D	D-9-6-11-17-D	133	232	Nee
		11	25800	31380	Nee					
	8	9	32260	24920	Nee					
		10	25980	30160	Nee					
		11	21960	34180	Nee					
5	13	16	18300	31080	Nee					
	14	16	20280	29100	Ja	D-13-16-D	D-14-12-18-D	191	207	Nee

Tabel 14 geeft alle mogelijke verwisselingen weer. In kolom twee staat de klant die de rit verlaat. De derde kolom geeft aan met welke klant deze verwisseld wordt. Wanneer de massa van beide nieuwe ritten kleiner is dan de toegestane dertig ton, worden de nieuwe routes uitgestippeld, met hun bijhorende afstanden. Deze route wordt uitgestippeld aan de hand van Google maps. De route met de kortste afstand wordt gekozen. Als de som van de afstanden van de twee nieuwe ritten kleiner is dan de som van de twee oorspronkelijke ritten, brengt de verwisseling een verbetering

met zich mee. De totale nieuwe af te leggen afstand is dan kleiner dan de totale af te leggen afstand na stap twee.

Uit tabel 14 blijkt dat geen enkele verwisseling een verbetering met zich meebrengt. De som van de afstanden van de nieuwe ritten is altijd groter dan de som van de ritten uit stap twee. Dit geldt ook voor het model waarin de LIFO filosofie wordt opgenomen. De verbeterde oplossing die gecreëerd wordt door dit algoritme wordt bijgevolg gecreëerd in stap één en twee.

Tabel 14 geeft enkel verwisselingen weer van rit één, twee, drie en vijf. Het opnemen van rit vier en zes zou voor twee maal dezelfde verwisselingen zorgen. Zo is elke mogelijke verwisseling van rit vier met rit één, twee en drie reeds uitgevoerd bij ritnummer één, twee en drie. Hetzelfde geldt voor rit vijf met rit zes. Klant vijftien uit rit twee kan wisselen met een klant uit de laatste twee ritten. Wanneer het zou gaan over klant twaalf uit rit zes, moet rit zes een dag vervroegd worden. Dit is mogelijk, zoals eerder werd aangegeven, aangezien op deze dag slechts één rit gepland is.

4.4.5 Nieuwe routes

In tabel 15 wordt de nieuwe rittenplanning weergegeven. Wanneer de oorspronkelijke rittenplanning wordt vergeleken met de nieuwe rittenplanning, is duidelijk dat enkel de eerste rit hetzelfde is gebleven. In de derde rit zijn de klanten onderling verwisseld, terwijl in alle andere ritten klanten zijn toegevoegd of verwijderd. Zoals eerder werd aangegeven, wordt één rit minder gebruikt om de achttien klanten te bezoeken. Elke rit voldoet aan alle opgelegde beperkingen, waarbij elke rit start en eindigt bij Aegten NV. Zo vinden maximaal twee ritten per dag plaats, wordt elke klant slechts één keer bezocht en worden alle bestellingen ten laatste op de einddatum geleverd. De maximaal toegestane massa van dertig ton wordt in geen enkele rit overschreden. Tot slot wordt in geen enkele rit het volume van een compartiment overschreden. In de eerste kolom staat het ritnummer en de tweede kolom geeft de leveringsdatum aan. In de derde kolom staat het klantnummer. Deze volgorde geeft de volgorde in de route weer. De klantnummers worden gevolgd door de massa gevraagd door elke klant en de totale massa voor elke rit. Hierbij wordt aangegeven in welk compartiment de goederen geladen worden, samen met de tijdsvensters bij de klant en de totale afstand van de rit.

In de nieuwe rittenplanning wordt klant vijftien twee dagen eerder bezocht, op 18 maart. De totale af te leggen afstand van rit twee stijgt door het opnemen van klant vijftien met 2,7 kilometer. De bulkwagen legt die dag 393,5 kilometer af, zodat deze kleine stijging bijna verwaarloosbaar is. De vrachtwagen moet wel één keer een extra mengeling meststoffen laden en lossen. De tijd hiervan wordt echter niet in deze masterproef opgenomen.

Tabel 15: Nieuwe rittenplanning

Ritnr.	Datum	Locatie (klantnummer)	Massa (kg)	Totale massa (kg)	9.2 ton	5.2 ton	9.2 ton	5.2 ton	9.2 ton	Tijdsvenster	Totale afstand (km)
1	17/mrt	1	6040		√					18/mrt	
	17/mrt	2	11800			√	√			18/mrt	
	17/mrt	3	10060	27900				√	√	18/mrt	251,5
2	17/mrt	4	6020		√					18/mrt	
	17/mrt	5	9980			√	√			18/mrt	
	17/mrt	5	4540					√		18/mrt	
	17/mrt	15	8000	28540					√	20/mrt	142
3	18/mrt	8	11820		√	√				18/mrt	
	18/mrt	6	7980				√			18/mrt	
	18/mrt	7	9960	29760				√	√	18/mrt	87,8
4	18/mrt	9	14320		√	√				18/mrt	
	18/mrt	10	8040				√			18/mrt	
	18/mrt	11	4020	26380				√		18/mrt	170,1
5	20/mrt	13	12000		√	√				21/mrt	
	20/mrt	14	10020	22020			√	√		21/mrt	54,6
6	21/mrt	18	11980		√	√				21/mrt	
	21/mrt	16	8280				√			21/mrt	
	21/mrt	17	1040					√		21/mrt	
	21/mrt	12	7100	28400					√	21/mrt	208

In stap twee werd klant twaalf verwijderd uit rit vijf en toegevoegd aan de laatste rit. Rit vijf werd oorspronkelijk uitgevoerd op 20 maart en de laatste rit op 21 maart. Door het wegvallen van een rit is het mogelijk om de laatste rit uit te voeren op 20 maart, zodat klant twaalf op dezelfde dag als in de oorspronkelijke rittenplanning wordt bezocht. Als dit zou gebeuren, moet de bulkwagen zes klanten bezoeken en 265,6 kilometer afleggen op 20 maart. In de oorspronkelijke rittenplanning waren dit vier klanten en 148,4 kilometer. Deze wijziging zorgt voor een groot verschil, zodat het misschien niet mogelijk is voor Aegten NV, rekening houdend met de rittenplanning van andere transporttypes, om deze zes klanten te bezoeken op 20 maart. Hierdoor is het logischer om de laatste rit op 21 maart uit te voeren. Klant twaalf wordt zo een dag later bezocht dan in de oorspronkelijke rittenplanning, maar de tijdsvensters bij deze klant worden niet geschonden.

De oplossing die gecreëerd wordt via het local search algoritme wordt in de literatuur omschreven als een goede oplossing. Het nadeel van dit algoritme situeert zich in het feit dat deze oplossing niet altijd de optimale oplossing is (Duhamel et al., 2011; Hillier & Lieberman, 2010; Muyltermans & Pang, 2010; Tarantilis et al., 2009).

De nieuwe rittenplanning zorgt voor een daling van 110,8 kilometer ten opzichte van de oorspronkelijke rittenplanning. Dit is een daling van 12,08%. Deze daling is redelijk sterk, maar hierbij moet echter een kanttekening worden gemaakt. De rittenplanning van de bulkwagen is namelijk maar een klein deel van de totale rittenplanning van Aegten NV. Deze rittenplanning vond verder ook plaats in de drukste periode van het jaar voor het bedrijf, zodat de planning vaak zeer snel uitgevoerd moet worden. Deze twee redenen kunnen ervoor zorgen dat deze rittenplanning minder aandacht heeft gekregen.

Zoals eerder werd weergegeven, geeft het tweede model, het model waar de LIFO filosofie werd opgenomen, geen andere oplossing dan het model zonder deze ladingsbeperking. Dit is echter niet in elke situatie zo. Een voorbeeld hiervan kan gehaald worden wanneer de optimale route van de laatste rit wordt aangepast. Wanneer de kortste route van deze rit D-18-17-16-12-D zou zijn, wordt een andere oplossing bekomen bij het model waar de LIFO filosofie wordt opgenomen. Deze route is in dit model namelijk niet mogelijk, aangezien de mengeling meststoffen van klant zestien niet in een compartiment van 5.2 ton gaan.

5 Algemene conclusie

De rittenplanning krijgt steeds meer aandacht binnen een bedrijf door het toedoen van verschillende oorzaken. Zo staan vrachtwagens steeds langer in de file en zijn de benzineprijzen de afgelopen jaren fel gestegen. Dit zorgt voor een stijging in de transportkosten. Ook de economische crisis heeft zijn effect. Deze zorgt namelijk voor de nodige kostenbesparingen in verschillende gebieden, dus ook in de rittenplanning. Klanten eisen verder ook een bepaalde stiptheid. Deze moet worden nageleefd om een goede relatie met de klanten te behouden.

Uit de eerste deelvraag van de literatuurstudie blijkt dat binnen de rittenplanning met veel verschillende beperkingen rekening moet worden gehouden. Deze beperkingen splitsen zich op in twee verschillende groepen, namelijk de algemene beperkingen en de ladingsbeperkingen. Deze eerste groep beschrijft de verschillende kenmerken die al dan niet in rekening worden gebracht in de rittenplanning. Een voorbeeld van zo een kenmerk is het vertrek- en startpunt van de vrachtwagen. Vaak wordt verondersteld dat de vrachtwagen zowel moet vertrekken als aankomen op dezelfde plaats, normaal het depot van het bedrijf. De tweede categorie van beperkingen geeft de verschillende ladingsbeperkingen weer die betrekking hebben op het in- en uitladen van de container. Deze ladingsbeperkingen lopen zeer ver uiteen, van de afmetingen van de container tot de aard van de goederen, bijvoorbeeld de breekbaarheid of de gevaarlijkheid van de goederen. In elke rittenplanning moeten alle relevante beperkingen, zowel algemene als ladingsbeperkingen, worden opgenomen om een goede rittenplanning op te stellen. Op het einde van het praktijkprobleem wordt een vergelijking omschreven waarin eerst de LIFO filosofie niet wordt opgenomen en vervolgens wel. Wanneer de beperking niet wordt opgenomen daalt de totale af te leggen afstand. Het kan echter nodig zijn dat deze beperking wel moet worden opgenomen, zodat deze rittenplanning en de lagere af te leggen afstand niet correct is.

Het tweede deel van de literatuurstudie omschrijft verschillende uitbreidingen op twee problemen, het traveling salesman problem en het vehicle routing problem. Het plannen van één rit wordt het traveling salesman problem genoemd. Een handelsreiziger reist naar een aantal steden, waarbij hij probeert om zijn totale levertijd te beperken. Het vehicle routing problem verschilt van het traveling salesman problem in het extra opnemen van de vraag naar de goederen van de klanten en de vloot van de vrachtwagens. Elk probleem verschilt van elkaar door het opnemen van verschillende beperkingen. Deze beperkingen kunnen algemene beperkingen of ladingsbeperkingen zijn, of beiden. De verschillende problemen kunnen vergeleken worden aan de hand van samenvattende tabellen. Zo wordt snel duidelijk in welke (ladings)beperkingen de verschillen zich situeren en welke problemen grote overeenkomsten vertonen. Verder wordt duidelijk of een probleem een uitbreiding is op een ander probleem. Uit de tabellen blijkt ook dat onderzoekers die handelen over hetzelfde probleem andere (ladings)beperkingen opnemen en zo het probleem iets anders benaderen. Op deze problemen worden vaak verschillende methodes toegepast. Sommige auteurs maken zelfs een combinatie van meerdere oplossingsmethodes.

In het begin van het praktijkprobleem wordt de rittenplanning van Aegten NV beschreven. Hieruit blijkt dat de algemene beperkingen voor de verschillende transporttypes relatief sterk overeenstemmen met elkaar. Zo moet bijvoorbeeld bij elk transporttype rekening gehouden worden met de rij- en rusturen van de chauffeurs. Voor de ladingsbeperkingen gelden deze relatieve overeenstemmingen niet. Zo zijn bijvoorbeeld enkel de beperkingen van de container relevant voor het transport met behulp van de zakcontainers. Het transport van de dozen en de losse eenheden nemen bijna alle ladingsbeperkingen op die verklaard werden in de literatuurstudie. Wanneer alle transporttypes vergeleken worden met de problemen uit de literatuur, wordt duidelijk dat de praktijk niet altijd volledig overeenstemt met de beschreven literatuur. Dit uit zich bijvoorbeeld bij het vergelijken van het transport van de bulkgoederen met de literatuur. De vier papers uit de literatuur verschillen allemaal van het praktijkprobleem. De meeste papers verschillen vaak deels van elkaar, zodat bijna elke paper afzonderlijk op een andere manier verschilt van het transporttype.

Vervolgens werd de rittenplanning van één week van de bulkwagen geanalyseerd. Achttien klanten worden in deze rittenplanning in zeven verschillende ritten bezocht. De analyse gebeurt aan de hand van het local search algoritme. Het algoritme is opgedeeld in drie stappen. In elke stap moet altijd aan alle relevante (ladings)beperkingen worden voldaan. Voor de toepassing worden twee verschillende modellen opgesteld. In het eerste model wordt de ladingsbeperking LIFO filosofie niet opgenomen, terwijl dit in het tweede model wel wordt gedaan. Na de eerste stap wordt de rittenplanning verbeterd met 22,7 kilometer voor beide modellen. Deze verbetering gebeurt enkel door de volgorde van de klanten in de rit te optimaliseren. Op deze manier worden bepaalde klanten eerder of later bezocht. In stap twee worden één of meerdere klanten uit een route gehaald en aan een andere rit toegevoegd. Dit is enkel mogelijk wanneer de totale massa van beide routes kleiner of gelijk is aan de toegestane massa. In deze stap wordt een verbetering van 88,1 kilometer gerealiseerd, opnieuw voor beide modellen. In de laatste stap worden tot slot één of meerdere klanten uit één rit verwisseld met één of meerdere klanten uit een andere rit. Deze verwisseling kan enkel plaats vinden wanneer de totale massa van beide ritten kleiner of gelijk is aan dertig ton. Voor beide modellen wordt in stap drie echter geen verbetering gevonden, zodat de totale verbetering in deze analyse 110,8 kilometer bedraagt. In deze laatste stap is het enkel mogelijk om één klant te verwisselen met één of meerdere klanten, maar niet om meerdere klanten uit één route te verwisselen met meerdere klanten uit een andere route. Deze verwisselingen zouden echter wel kunnen zorgen voor een kortere totale af te leggen afstand in de rittenplanning.

De daling van 12,08% in de totale af te leggen afstand is redelijk groot, maar hierbij moet echter een kanttekening worden gemaakt. De rittenplanning van de bulkwagen is namelijk maar een klein deel van de totale rittenplanning van Aegten NV. Deze rittenplanning vond verder ook plaats in de drukste periode van het jaar voor het bedrijf, zodat de planning vaak ad hoc uitgevoerd moet worden. Omwille van deze twee redenen is het mogelijk dat deze rittenplanning minder aandacht heeft gekregen. Op basis van het gevoerde onderzoek in deze masterproef is het niet mogelijk om een conclusie te trekken over de hele rittenplanning. De analyse is namelijk slechts uitgevoerd voor één transporttype voor een tijdsperiode van slechts één week. Wanneer dezelfde verbetering

gevonden kan worden voor andere transporttypes, kan het opportuun zijn om verbeteringen door te voeren in de rittenplanning in de toekomst.

Een betere oplossing kan mogelijk ook verkregen worden door het toepassen van een andere extra methode. Deze methode start met de eindoplossing van het local search algoritme. De methodes kunnen ook in omgekeerde volgorde toegepast worden. Leung et al. (2013) passen achtereenvolgens twee methodes toe, het simulated annealing algoritme en de tabu search methode. De oplossing wordt door het toepassen van de tweede methode verbeterd in dit onderzoek.

Uit de vergelijking van de problemen uit de literatuur met de transporttypes uit de praktijk blijkt dat bijna overal een verschil aanwezig is. Dit verschil bestaat uit, zoals eerder werd weergegeven, één of meerdere (ladings)beperkingen. In verder onderzoek lijkt het nuttig om bij de bestaande problemen één of meerdere (ladings)beperkingen op te nemen, zodat een beschrijving van zoveel mogelijk praktijkproblemen aanwezig is. Tot slot kan het in verder onderzoek nuttig zijn om rekening te houden met recentere (ladings)beperkingen in de rittenplanning waarmee vroeger nog geen rekening mee moest worden gehouden. Een voorbeeld is de asbelasting van een vrachtwagen. Wanneer een (ladings)beperking niet wordt opgenomen is het mogelijk dat de rittenplanning niet correct kan verlopen. Hiervan werd een voorbeeld gegeven in het praktijkprobleem onder de nieuwe rittenplanning. Hier wordt een voorbeeld gegeven hoe de rit niet uitgevoerd kan worden in de aangegeven volgorde, aangezien deze het LIFO principe schenden.

Bronnenlijst

Alba, M., Cordeau, J.F., Dell'Amico, M., & Iori, M. (2011). A branch-and-cut algorithm for the double traveling salesman problem with multiple stacks. *Cirrelt*, 25, p 41-55.

Baldacci, R., Toth, P., & Vigo, D. (2007). Recent advances in vehicle routing exact algorithms. *4OR Springer*, 5, p 269-298.

Baldacci, R., Toth, P., & Vigo, D. (2010). Exact algorithms for routing problems under vehicle capacity constraints. *Annals of Operations Research*, 175, p 213-245.

Battarra, M., Erdogan, G., Laporte, G., & Vigo, D. (2010). The traveling salesman problem with pickups, deliveries and handling costs. *Transportation Science*, 44, p 383-399.

Bley, A. (2011). An integer programming algorithm for routing optimization in IP networks. *Algorithmica*, 1, p 21-45.

Bent, R., & Van Hentenryck, P. (2006). A two-stage hybrid algorithm for pickup and delivery vehicle routing problems with time windows. *Computers & Operations Research*, 1, p 139-147.

Bortfeldt, A. (2012). A hybrid algorithm for the capacitated vehicle routing problem with three-dimensional loading constraints. *Computers & Operations Research*, 39, p 2248-2257.

Bortfeldt, A., & Homberger, J. (2013). Packing first, routing second – a heuristic for the vehicle routing and loading problem. *Computers & Operations Research*, 40, p 873-885.

Brown, G.G., Ellis, C.J., Graves, G.W., & Ronen, D.R. (1987). Real-time, wide area dispatch of mobil tank trucks. *Interfaces*, 17, p 107-120.

Carrabs, F., Cerrulli R., & Cordeau J.F. (2007). An additive branch-and-bound for the pickup and delivery traveling salesman problem with LIFO and FIFO loading. *INFOR*, 45, p 223-238.

Carrabs, F., Cordeau, J.F., & Laporte, G. (2007). Variable neighborhood search for the pickup and delivery traveling salesman problem with LIFO loading. *Inform Journal on Computing*, 19, p 618-632.

Chao, I-M., & Liou, T-S. (2005). A new tabu search heuristic for the site-dependent vehicle routing problem. In Golden, B.L., Raghavan, S., & Wasil, E.A., *The Next Wave in Computing, Optimization, and Decision Technologies*. Monterey: Springer.

- Cheang, B., Gao, X., Lim, A., Qin, H., & Zhu, W. (2012). Multiple pickup and delivery traveling salesman problem with last-in-first-out loading and distance constraints. *European Journal of Operational Research*, *1*, p 60-75.
- Clautiaux, F., Jouglet, A., Carlier, J., & Moukrim, A. (2008). A new constraint approach for the orthogonal packing problem. *Computers & operations research*, *3*, p 944-959.
- Cordeau, J.F., Iori, M., Laporte, G., Salazar, G., & Juan, J. (2010). A branch-and-cut algorithm for the pickup and delivery traveling salesman problem with LIFO loading. *Journal on Computing*, *19*, p 46-59.
- Cordeau, J.F., Dell'Amico, M., & Iori, M. (2010b). Branch-and-cut for the pickup and delivery traveling salesman problem with FIFO loading. *Computers & Operations Research*, *37*, p 970-980.
- Cornellier, F., Boctor, F.F., Laporte, G., & Renaud, J. (2008). A heuristic for the multi-period petrol station replenishment problem. *European Journal of Operational Research*, *191*(2), p 295-305.
- Cornellier, F., Boctor, F.F., Laporte, G., & Renaud, J. (2009). The petrol station replenishment problem with time windows. *Computers and Operations Research*, *36*, p 919-935.
- Coté, J.F., Gendreau, M., & Potvin, J.Y. (2012). Large neighborhood search for the single vehicle pickup and delivery problem with multiple loading stacks. *CIRRELT*, *60*, p 19-30.
- Doerner, K.F., Fuellerer, G., Hartl, R.F., Gronalt, M., & Iori, M. (2007). Metaheuristics for the vehicle routing problem with loading constraints. *Networks*, *49*, p 294-307.
- Duhamel, C., Lacomme, P., Quilliot, A., & Toussaint, H. (2011). A multi-start evolutionary local search for the two-dimensional loading capacitated vehicle routing problem. *Computers & Operations Research*, *38*, p 617-640.
- Dumitrescu, I., Ropke, S., Cordeau, J.F., & Laporte, G. (2010). The traveling salesman problem with pickup and delivery: polyhedral results and a branch-and-cut algorithm. *Mathematical programming*, *121*, p 269-305.
- El Fallahi, A., Prins, C., & Wolfler Calvo, R. (2008). A memetic algorithm and a tabu search for the multi-compartment vehicle routing problem. *Computers&Operations Research*, *35*, p 1725-1741.
- Erdogan, G., Cordeau, J.F., & Laporte, G. (2009). The pickup and delivery traveling salesman problem with first-in-first-out loading. *Computers & Operations Research*, *36*, p 1800-1808.
- Fagerholt, K., & Christiansen, M. (2000). A traveling salesman problem with allocation, time window and precedence constraints – an application to ship scheduling. *International Transactions in Operational Research*, *7*, p 231-244.

Felipe, A., Ortuño, M.T., & Tirado, G. (2009). New neighborhood structures for the double traveling salesman problem with multiple stacks. *European Journal of Operational Research*, 17, p 190-213.

Felipe, A., Ortuño, M.T., & Tirado, G. (2011). Using intermediate infeasible solutions to approach vehicle routing problems with precedence and loading constraints. *European Journal of Operational Research*, 211, p 66-75.

Fuellerer, G., Doerner, K.F., Hartl, R., & Iori, M. (2009). Ant colony optimization for the two-dimensional loading vehicle routing problem. *Computers & Operations Research*, 36, p 655-673.

Fuellerer, G., Doerner, K.F., Hartl, R., & Iori, M. (2010). Metaheuristics for vehicle routing problems with three-dimensional loading constraints. *European Journal of Operational Research*, 3, p 751-759.

Fukasawa, R., Longo, H., Lysgaard, J., De Aragao, M.P., Reis, M., Uchua, E., & Werneck, R.F. (2006). Robust branch-and-cut-and-price for the capacitated vehicle routing problem. *Mathematical Programming*, 106, p 491-511.

Gao, X., Lim, A., Qin, H., & Zhu, W. (2011). Multiple pickup and delivery TSP with LIFO and distance constraints. *Lecture Notes in Computer Science*, 6704, p 193-202.

Gendreau, M., Hertz, A., & Laporte, G. (1992). New insertion and postoptimization procedures for the traveling salesman problem. *Operations Research*, 6, p 1086-1095.

Gendreau, M., Iori, M., Laporte, G., & Martello, S. (2006). A tabu search algorithm for a routing and container loading problem. *Transportation Science*, 3, p 342-350.

Gendreau, M., Iori, M., Laporte, G., & Martello, S. (2008). A tabu search heuristic for the vehicle routing problem with two-dimensional loading constraints. *Networks*, 51, p 4-18.

Gulczynski, D., Golden, B., & Wasil, E. (2011). The period vehicle routing problem: new heuristics and real-world variants. *Transportation Research: Part E*, 5, p 648-668.

Hillier, F.S., & Lieberman, G.J. (2010). *Introductions to Operations Research*. New York: McGraw-Hill.

Iori, M., Salazar, G.JJ., & Vigo, D. (2007). An exact approach for the vehicle routing problem with two-dimensional loading constraints. *Transportation Science*, 41, p 253-264.

Iori, M., & Martello, S. (2010). Routing problems with loading constraints. *TOP*, 1, p 4-27.

- Jun, J., Crainic, T., & Løkketangen, A. (2012). A parallel multi-neighborhood cooperative tabu search for capacitated vehicle routing problems. *European Journal of Operational Research*, 3, p 441-451.
- Junqueira, L., Oliveira, J.F., Carravilla, M.A., Morabito, R. (2013). An optimization model for the vehicle routing problem with practical three-dimensional loading constraints. *International Transactions in Operational Research*, 20, p 645-666.
- Leung, S.C.H., Zhang, Z., Zhang, D., Hua, X., & Lim, M. (2013). A meta-heuristic for heterogeneous fleet vehicle routing problems with two-dimensional loading constraints. *European Journal of Operational Research*, 2, p 199-210.
- Leung, S.C.H., Zhou, X., Zhang, D., & Zheng, J. (2011). Extended guided tabu search and a new packing algorithm for the two-dimensional loading vehicle routing problem. *Computer & Operations Research*, 31, p 205-215.
- Li, Y., Lim, A., Oon, W.C., Qin, H., & Tu, D. (2011). The tree representation for the pickup and delivery traveling salesman problem with LIFO loading. *European Journal of Operational Research*, 3, p 482-496.
- Lusby, R., Larsen, J., Ehrgott, M., & Ryan, D. (2010). An exact method for the double TSP with multiple stacks. *International Transport Operations Research*, 17, p 637-652.
- Lysgaard, J., Letchford, A.N., & Eglese, R.W. (2004). A new branch-and-cut-algorithm for the capacitated vehicle routing problem. *Mathematical Programming*, 100, p 423-445.
- Malapert, A., Guéret, C., Jussien, N., Langevin, A., & Rousseau, L.M. (2008). Two-dimensional pickup and delivery routing problem with loading constraints. *Cirrelet*, 37, p 3-11.
- Martello, S., & Vigo, D. (1998). Exact solution of the two-dimensional finite bin packing problem. *Management Science*, 3, p 388-399.
- Mendoza, J.F., Castanier, B., Guéret, C., Medaglia, A.L., & Velasco, N. (2010). A memetic algorithm for the multi-compartment vehicle routing problem with stochastic demands. *Computers & Operations Research*, 37, p 1886-1898.
- Moura, A. (2008). Multi-objective genetic algorithms for the vehicle routing problem with time windows and loading problem. *Intelligent Decision Support*, 31, p 187-201.
- Moura, A., & Oliveira, J.F. (2009). An integrated approach to the vehicle routing and container loading problems. *OR Spectrum: Quantitative Approaches in Management*, 31, p 775-300.

- Muyldermans, L. & Pang, G. (2010). On the benefits of co-collection: experiments with a multi-compartment vehicle routing algorithm. *European Journal of Operational Research*, 206, p 93-103.
- Nagata, Y., & Bräysy, O. (2009). A powerful route minimization heuristic for the vehicle routing problem with time windows. *Operations Research Letters*, 5, p 333-338.
- Petersen, H.L., & Madsen, O.B.G. (2009). The double traveling salesman problem with multiple stacks – Formulation and heuristic solution approaches. *European Journal of Operational Research*, 1, p 139-147.
- Reed, M., Yiannakou, A., & Evering, R. (2014). An ant colony algorithm for the multi-compartment vehicle routing problem. *Applied Soft Computing Journal*, 15, p 169-176.
- Renaud, J., Boctor, F.F., & Laporte, G. (2002). Perturbation heuristics for the pickup and delivery traveling salesman problem. *Computers & Operations Research*, 29, p 1129-1141.
- Ropke, S., Cordeau, J.F., & Laporte, G. (2007). Models and branch-and-cut algorithms for pickup and delivery problems with time windows. *NETWORKS*, 49, p 258-272.
- Ruan, Q., Zhang, Z., Miao, L., & Shen, H. (2013). A hybrid approach for the vehicle routing problem with three-dimensional loading constraints. *Computers & Operations Research*, 40, p 1579-1589.
- Tadei, R., Rerboli, G, & Croce, F.D. (2002). A heuristic algorithm for the Auto-Carrier Transportation problem. *Transportation Science*, 36, p 55-62.
- Taillard, E., Badeau, P., Gendreau, M., Guertin, F., & Potvin, J.Y. (1997). A tabu search heuristic for the vehicle routing problem with soft time windows. *Transportation Science*, 31, p 170-186.
- Tarantilis, C.D., Zachariadis, E.E., & Kiranoudis, C.T. (2009). A hybrid metaheuristic algorithm for the integrated vehicle routing and three-dimensional container-loading problem. *IEEE Transactions On Intelligent Transportation Systems*, 10, p 255-271.
- Toth, P., & Vigo, D. (2001). *The vehicle routing problem*. Philadelphia: Transportation Science.
- Tricoire, F., Doerner, K., Hartl, R., & Iori, M. (2010). Heuristic and exact algorithms for the multi-pile vehicle routing problem. *Operations Research Spectrum*, 33, p 931-959.
- Wang, F., Tao, Y., & Shi, N. (2009). A survey on vehicle routing problem with loading constraints. *International Joint Conference on Computational Sciences & Optimization*, 2, p 602-606.
- Xu, H., Chen, Z.L., Rajagopal, S., & Arunapuram, S. (2003). Solving a practical pickup and delivery problem. *Transportation Science*, 37, p 347-364.

Zachariadis, E., Tarantilis, C.D., & Kiranoudis C.T. (2009). A guided tabu search for the vehicle routing problem with two-dimensional loading constraints. *European Journal of Operational Research*, 195, p 729-743.

Zhong, Y., & Aghezzaf, E.H. (2011). Combining DC-programming and steepest-descent to solve the single-vehicle inventory routing problem. *Computers & Industrial Engineering*, 2, p 313-321.

Bijlage

Bijlage 1: Onderlinge afstanden

(18)	93,3	4,2	18,1	64,9	64,9	69,1	61,3	54,3	61,3	68,7	51,5	18,4	51,5	67,7	67,7	71,6	18,3
(17)	84,2	21,7	34,7	62,9	62,9	67,1	59,3	52,3	59,3	53,9	36,7	4,8	36,7	58,6	58,6	69,2	12,7
(16)	95,5	20,6	29	69,8	69,8	74	66,2	59,1	66,2	65,2	48	13,8	48	69,9	69,9	75,9	/
(15)	22,4	70,4	92,2	44,8	44,8	50,3	22,8	18	22,8	39,3	46,5	79,2	46,5	27,2	27,2	/	
(14)	25,5	67,1	88,9	57,3	57,3	61,3	19	26,7	19	13,3	24,9	57,6	24,9	4	/		
(13)	25,5	67,1	88,9	57,3	57,3	61,3	19	26,7	19	13,3	24,9	57,6	24,9	/			
(12)	50,2	50,9	72,7	78,7	78,7	82,9	38,4	46	38,4	17,6	10	35,8	/				
(11)	83,3	23	33,8	58,3	58,3	62,5	48,4	47,7	48,4	53	35,8	/					
(10)	50,4	50,9	72,7	78,7	78,7	82,9	38,4	46	38,4	17,6	/						
(9)	33,7	68	89,8	68,4	68,4	72,5	30,2	37,9	30,2	/							
(8)	35,9	60,5	82,4	38,2	38,2	42,3	6	7,7	/								
(7)	36,1	53,9	75,8	31,9	31,9	35,9	7,7	/									
(6)	35,9	60,5	82,4	38,2	38,2	42,3	/										
(5)	67,3	69,3	77	6,9	6,9	/											
(4)	63,1	65,1	64,9	4	/												
(3)	63,1	65,1	64,9	/													
(2)	113	21,3	/														
(1)	91,9	/															
(0)																	
	(0)	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)	(14)	(15)	(16)

(17)																			19,3
(18)																			/

Auteursrechtelijke overeenkomst

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

Rittenplanning met ladingsbeperkingen

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

Jaar: **2014**

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,

Vanherk, Tom

Datum: **27/05/2014**