



UHASSELT

KNOWLEDGE IN ACTION

Faculteit Bedrijfseconomische Wetenschappen

master handelsingenieur

Masterthesis

Analyse van realistische beperkingen in de routepanning

Sarah Schurmans

Scriptie ingediend tot het behalen van de graad van master handelsingenieur, afstudeerrichting operationeel management en logistiek

PROMOTOR :

dr. Hanne POLLARIS



UHASSELT

KNOWLEDGE IN ACTION

www.uhasselt.be

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

2019
2020



Faculteit Bedrijfseconomische Wetenschappen

master handelsingenieur

Masterthesis

Analyse van realistische beperkingen in de routeplanning

Sarah Schurmans

Scriptie ingediend tot het behalen van de graad van master handelsingenieur, afstudeerrichting operationeel management en logistiek

PROMOTOR :

dr. Hanne POLLARIS

Mededeling

Deze masterproef werd geschreven tijdens de COVID-19 crisis in 2020. Deze wereldwijde gezondheids crisis heeft mogelijk een impact gehad op het schrijf- en verwerkingsproces, de onderzoekshandelingen en de onderzoeksresultaten die aan de basis liggen van dit werkstuk.

Woord vooraf

Deze masterproef vormt het sluitstuk van mijn opleiding tot Handelsingenieur aan de Universiteit Hasselt. Voor mijn masteropleiding heb ik gekozen voor de richting Operationeel Management en Logistiek. Het onderwerp van mijn masterproef "Analyse van beperkingen bij *Rich VRP's*" sluit aan bij deze afstudeerrichting. Het schrijven van deze masterproef is een leerrijke ervaring geweest waardoor ik meer kennis heb opgedaan over de transportsector. Deze masterproef was nooit tot stand gekomen zonder de hulp van een aantal personen.

In eerste plaats wil ik mijn promotor Hanne Pollaris bedanken voor haar deskundige begeleiding, constructieve commentaar en advies. Tevens wil ik ook Julie Lux en Jeroen Corstjens bedanken voor hun bereidwillige medewerking aan de interviews. Ten slotte wil ik ook mijn vrienden en familie bedanken voor hun steun de afgelopen jaren.

Samenvatting

De rittenplanning is een van de belangrijkste taken voor de meeste bedrijven. De toename van globalisering en internationale handel zorgt ervoor dat de transportsector blijft groeien. Overigens zorgt de toenemende populariteit van e-commerce voor kleinere en frequentere leveringen. Momenteel liggen de marges in de transportsector laag en is er een tekort aan vrachtwagenchauffeurs. Dit zet druk op de transportsector om de routes zo efficiënt mogelijk te plannen. Het optimaliseren van de routeplanning leidt tot een significante kostenbesparing. Een efficiënte routeplanning gaat bovendien ook een positieve impact hebben op de ecologische duurzaamheid.

In het rittenplanningsprobleem of *Vehicle Routing Problem (VRP)* worden optimale ritten opgesteld. De afgelopen jaren zijn er veel varianten van het rittenplanningsprobleem geformuleerd. In de literatuurstudie van deze masterproef worden deze varianten besproken. Ondanks dat in de literatuur veel verschillende varianten van het rittenplanningsprobleem gedefinieerd zijn, omvatten deze problemen vaak niet alle beperkingen en vereisten waarmee bedrijven in de realiteit mee te maken hebben. Daarom is er de laatste jaren steeds meer aandacht voor *Rich Vehicle Routing Problems*, die de realiteit proberen te weerspiegelen door extra beperkingen op te nemen.

Rittenplanningsproblemen kunnen manueel of met behulp van een routeplanningssoftware opgelost worden. Een handmatige planning is meestal niet optimaal wanneer een rittenplanningsprobleem veel complexe beperkingen bevat. De eisen van de klanten liggen ook steeds hoger. Klanten verwachten dat hun goederen snel geleverd worden en dat leveringen transparant zijn. Een routeplanningssoftware kan gebruikt worden om de rittenplanning te verbeteren. Het implementeren van een routeplanningssoftware gaat ervoor zorgen dat de ritten beter gepland worden, wat vervolgens gaat leiden tot lagere kosten en een kortere planningstijd.

In deze masterproef wordt onderzocht met welke beperkingen transporteurs rekening moeten houden om een zo realistisch mogelijke rittenplanning op te stellen.

In het eerste deel van deze masterproef wordt een literatuurstudie uitgevoerd. In deze literatuurstudie wordt onderzocht hoe in de wetenschappelijke literatuur wordt omgegaan met realistische beperkingen bij rittenplanningsproblemen. In deze literatuurstudie wordt eerst het *Vehicle Routing Problem (VRP)* gedefinieerd. Vervolgens wordt onderzocht welke varianten van het *Vehicle Routing Problem (VRP)* bestaan in de literatuur en welke beperkingen deze varianten opnemen in hun rittenplanning. Daarna worden de verschillende oplossingsmethoden van rittenplanningsproblemen die in de literatuur aanbod komen kort besproken.

Vervolgens wordt het *Rich Vehicle Routing Problem* bestudeerd. Het *Rich Vehicle Routing Problem* kan gedefinieerd worden als een rittenplanningsprobleem dat meerdere realistische beperkingen opneemt om zo de realiteit te weerspiegelen. In de literatuur worden afhankelijk van de context van het probleem verschillende beperkingen opgenomen in het rittenplanningsprobleem. In deze masterproef wordt een literatuuroverzicht opgesteld van recente *Rich Vehicle Routing Problems* en van welke beperkingen in deze rittenplanningsproblemen werden opgenomen. Bepaalde beperkingen zoals tijdsvensters en heterogene voertuigen werden de afgelopen jaren vaak opgenomen in de bestudeerde *Rich Vehicle Routing Problems*.

In het tweede deel van deze masterproef wordt een praktijkonderzoek uitgevoerd. In dit praktijkonderzoek wordt onderzocht hoe transporteurs hun ritten plannen en met welke beperkingen zij geconfronteerd worden bij het plannen van de ritten. Om dit te onderzoeken worden interviews afgenomen bij twee transportbedrijven: Lux Logistics en H.Essers. Bij beide bedrijven wordt onderzocht of ze hun routes manueel plannen of een routeplanningssoftware gebruiken. Ook wordt hun planproces beschreven. Vervolgens wordt nagegaan welke beperkingen opgenomen worden in de rittenplanning van de bedrijven en welke beperkingen het belangrijkste zijn voor hen.

Bij Lux Logistics worden de routes manueel gepland. Het bedrijf maakt momenteel geen gebruik van een routeplanningssoftware omdat deze softwareprogramma's in het verleden niet al hun vereisten konden opnemen. Ze steunen sterk op de kennis en de ervaring van de transportplanners om een goede rittenplanning te genereren. Omdat er vandaag wel programma's bestaan die aan hun vereisten voldoen, gaat Lux Logistics in de toekomst een routeplanningssoftware aanschaffen. Volgens Lux Logistics zijn de capaciteit van de wagens, de rij- en rusttijden van de chauffeurs en de openingsuren van de laad- en losplaatsen belangrijke beperkingen die zeker in de routeplanning opgenomen moeten worden.

Ook bij H.Essers worden veel routes nog manueel gepland. Op de afdeling *general cargo* wordt wel een routeplanningssoftware gebruikt. H.Essers kan deze routeplanningssoftware nog niet gebruiken om alle routes te plannen omdat ze problemen hebben met de kwaliteit van hun inputdata. Klanten geven niet altijd alle gegevens juist door. Alle beperkingen die in de manuele planning worden opgenomen, kunnen ook in het softwareprogramma gezet worden.

In het derde deel van de masterproef wordt een vergelijking gemaakt tussen de resultaten uit de literatuurstudie en de resultaten uit het praktijkonderzoek. Er wordt nagegaan of de beperkingen die in de rittenplanningsproblemen in de wetenschappelijke literatuur voorkomen, ook worden opgenomen in de rittenplanning bij de geïnterviewde transportbedrijven. Ook wordt onderzocht of bedrijven belang hechten aan beperkingen die zelden in rittenplanningsproblemen in de literatuur worden opgenomen. Zo blijkt dat in de literatuur zelden tot nooit rekening wordt gehouden met de menselijke factoren van zowel de planners als de chauffeurs, terwijl dit in de realiteit bij transportbedrijven wel belangrijke factoren zijn. Ook wordt in de onderzochte literatuur zelden rekening gehouden met een dynamische vraag. In de praktijk is dit echter wel een belangrijk aspect om mee op te nemen in de rittenplanning. Bedrijven kunnen *last minute* orders krijgen, waardoor de planning vaak gewijzigd moet worden. In de onderzochte literatuur wordt weinig aandacht besteed aan uitbestedingsbeslissingen. In de praktijk is het belangrijk om in de planning er rekening mee te houden dat het transport ook uitbested kan worden. Ook ladingsbeperkingen worden weinig opgenomen in de onderzochte literatuur, terwijl deze in de praktijk wel belangrijk blijken te zijn. In de onderzochte literatuur worden beperkingen die te maken hebben met goederen simultaan afleveren en ophalen op éénzelfde locatie ook weinig opgenomen. In de praktijk komt het wel vaker voor dat goederen zowel geleverd als opgehaald worden op éénzelfde locatie.

In deze masterproef worden enkel de beperkingen besproken die het meest voorkwamen in de literatuur. In de literatuur over het rittenplanningsprobleem bestaan nog heel wat andere beperkingen, deze kunnen verder onderzocht worden in toekomstig onderzoek.

In deze masterproef worden 25 recente *Rich Vehicle Routing Problems* bestudeerd en wordt gekeken welke beperkingen in deze rittenplanningsprobleem worden opgenomen. In toekomstig onderzoek kan een volledig overzicht gemaakt worden met alle *Rich Vehicle Routing Problems* en welke beperkingen zij opnemen.

In het praktijkonderzoek van deze masterproef worden twee bedrijven geïnterviewd: H.Essers en Lux Logistics. Elk bedrijf neemt beperkingen op specifiek voor de context van dat bedrijf. De geïnterviewde bedrijven zijn beide transportbedrijven. Bedrijven die zelf hun goederen produceren en het transport ook regelen, gaan rekening moeten houden met andere beperkingen in hun rittenplanning. Zij gaan bijvoorbeeld meer belang hechten aan voorraadbeperkingen. In verder onderzoek kunnen meer verschillende bedrijven geïnterviewd worden om de resultaten uit deze masterproef te veralgemenen.

Inhoud

Mededeling.....	1
Woord vooraf.....	3
Samenvatting.....	5
1. Probleemstelling.....	11
1.1 Praktijkprobleem.....	11
1.2 Centrale onderzoeksvraag.....	14
1.3 Deelvragen.....	14
1.4 Onderzoeksopzet.....	14
2. Literatuurstudie.....	17
2.1 Vehicle Routing Problem.....	17
2.1.1 Omschrijving Vehicle Routing Problem.....	17
2.1.2 Varianten Vehicle Routing Problem.....	18
2.1.2.1 Vehicle Routing Problem with Time Windows (VRPTW).....	18
2.1.2.2 Heterogenous Fleet Vehicle Routing Problem (HVRP).....	19
2.1.2.3 Multi-Depot Vehicle Routing Problem (MDVRP).....	19
2.1.2.4 Multi-Trip Vehicle Routing Problem (MTVRP of VRPMT).....	20
2.1.2.5 Vehicle Routing Problem with Pick Up and Delivery (VRPDP).....	20
2.1.2.6 Asymmetric Cost Matrix Vehicle Routing Problem (AVRP).....	20
2.1.2.7 Dynamic Vehicle Routing Problem (DVRP).....	21
2.1.2.8 Dial-a-ride Problem (DARP).....	21
2.1.2.9 Distance-Constrained Vehicle Routing Problem (DCVRP/DVRP).....	22
2.1.2.10 Green Vehicle Routing Problem (GVRP).....	22
2.1.2.11 Vehicle Routing Problem met ladingsbeperkingen.....	22
2.1.2.12 Open Vehicle Routing Problem (OVRP).....	23
2.1.2.13 Periodic Vehicle Routing Problem (PVRP).....	23
2.1.2.15 Stochastic Vehicle Routing Problem (SVRP).....	23
2.1.2.16 Time-Dependent Vehicle Routing Problem (TDVRP).....	24
2.1.2.17 Geïntegreerde beslissingsmodellen.....	24
2.1.2.18 Beperking naamgeving varianten.....	24
2.1.3 Oplossingsmethoden Vehicle Routing Problem.....	26
2.1.3.1 Exacte oplossingsmethoden.....	26
2.1.3.2 Heuristieken en Metaheuristieken.....	27
2.1.3.3 Conclusie oplossingsmethoden Vehicle Routing Problem.....	27
2.2 Rich Vehicle Routing Problem.....	28
2.2.1 Definitie Rich Vehicle Routing Problem.....	28
2.2.2 Beperkingen Rich Vehicle Routing Problems.....	29
2.2.3 Literatuuroverzicht Rich Vehicle Routing Problems.....	34
2.2.4 Vergelijking met andere literatuurstudies van het Vehicle Routing Problem.....	39
2.2.5 Conclusie Rich Vehicle Routing Problem.....	41

3.	Praktijkonderzoek	43
3.1	Lux Logistics	43
3.1.1	Omschrijving bedrijf.....	43
3.1.2	Planproces.....	44
3.1.3	Nieuw TMS en planprogramma.....	44
3.1.4	Beperkingen	45
3.1.5	Besluit.....	47
3.2	H.Essers.....	49
3.2.1	Omschrijving bedrijf.....	49
3.2.2	Planproces.....	49
3.2.3	Planningssoftware.....	50
3.2.3	Beperkingen	51
3.2.4	Besluit.....	53
4.	Vergelijking literatuur praktijk	55
5.	Conclusie	59
6.	Aanbevelingen en toekomstig onderzoek	63
7.	Referenties.....	65

1. Probleemstelling

1.1 Praktijkprobleem

Logistiek en transport worden beschouwd als belangrijke activiteiten die bijdragen tot het succes van een bedrijf en aan ecologische duurzaamheid. Zowel technologie als innovatie zijn nodig om beter gebruik te maken van het transportnetwerk (European Commission, 2011). Bedrijven produceren steeds meer in lageloonlanden. Hierdoor wordt de afstand groter tussen waar de goederen geproduceerd worden en waar ze verkocht worden. Door de toename van globalisatie en internationale handel blijft de transportsector elke dag groeien in Europa (European Commission, 2011). In de Europese Unie vormt de transportsector momenteel ongeveer 5 procent van het bruto binnenlands product en stelt het meer dan 10 miljoen mensen tewerk (European Commission, 2019). De wereldwijde vraag naar transport zal de komende decennia sterk blijven groeien. Volgens een rapport van de Europese Commissie gaat tegen 2050 goederentransport groeien met 60 procent (European Commission, 2019). Deze toename kan deels verklaard worden door de stijging in populariteit van e-commerce. De opkomst van e-commerce zorgt namelijk voor meer zendingen, kleinere bestellingen en meer retour (VanderScheaghe, 2019). Het International Transport Forum voorspelt dat de snelle groei van e-commerce de wereldwijde vrachtvolumes tegen 2050 zou kunnen verhogen met 2 tot 11 procent (European Commission, 2019). Steeds meer bedrijven passen het *just in time (JIT)* principe toe om hun voorraadkosten te laten dalen. Dit zorgt voor frequente en kleinere leveringen, wat ook gaat bijdragen tot een toename van het goederentransport (Cepolina & Farina, 2015).

Rittenplanning is een van de belangrijkste taken bij veel bedrijven. Het plannen van routes is niet enkel belangrijk in de transportsector maar in alle sectoren waarin goederen en diensten worden verhandeld. Er bestaat niet enkel routeplanning voor transport op publieke wegen. Routeplanning wordt ook gebruikt om lokaal transport binnen een bedrijf of binnen een magazijn te plannen (Drexler, 2012).

De sterke concurrentie tussen transportbedrijven leidt tot hogere eisen voor efficiëntie, klantenservice, reactiviteit en kostenreductie binnen de transportsector (Hoff, Andersson, Christiansen, Hasle, & Løkketangen, 2010). Transporteurs hebben nood aan een efficiënte routeplanning. Uit onderzoek blijkt dat het optimaliseren van routeplanning kan zorgen voor significante economische besparingen van 5-30% op de totale transportkost (Hasle & Kloster, 2007). In de goederentransport industrie worden er lage marges gehaald, van gemiddeld 3% (Rincon-Garcia, Waterson, & Cherrett, 2018). Omdat de marges zo laag liggen in de sector, is het noodzakelijk om de kosten te minimaliseren. Een efficiënte routeplanning kan hierbij een grote rol spelen.

Naast het individuele economische belang voor bedrijven, is de macro-economische relevantie van efficiënt routeplannen enorm in termen van ecologische duurzaamheid. Door het vermijden van onnodige lange routes met een lage capaciteitsbenutting kan de uitstoot en congestie verminderd worden (Cattaruzza, Absi, Feillet, & González-Feliu, 2017).

Transportbedrijven hebben slechts beperkte capaciteit en goede vrachtwagenchauffeurs zijn moeilijk te vinden. Volgens de *International Transport Road Union* kampt de Europese

goederentransportsector al tientallen jaren met een ernstig tekort aan vrachtwagenchauffeurs en gaat dit tekort in de toekomst nog toenemen. Momenteel zijn 21 procent van de jobs als truckchauffeur niet ingevuld, terwijl de vraag naar vrachtwagenchauffeurs blijft stijgen. Bovendien hebben transportbedrijven moeilijkheden om nieuwe jonge chauffeurs te vinden (trans.INFO, 2019). Transportbedrijven beschikken dus slechts over een beperkte capaciteit. Hierdoor is het noodzakelijk om de routes te optimaliseren zodat de beschikbare capaciteit optimaal ingezet kan worden.

Het *Vehicle Routing Problem (VRP)* is een bekend probleem in operationeel onderzoek waarbij routes met minimale kosten gezocht worden, zodat een set geografisch verspreide klanten bediend wordt door een vloot van vrachtwagens (Cherif-Khettaf, Rachid, Bloch, & Chatonnay, 2015; Hosny, 2014). Het is één van de belangrijkste en meest bestudeerde optimalisatieproblemen in de wetenschappelijke literatuur (Toth & Vigo, 2014). Het *VRP* werd in 1959 geïntroduceerd door Dantzig en Ramser. Zij stelden een model op om routes van benzinetrucks tussen een terminal en tankstation te optimaliseren (Dantzig & Ramser, 1959). Het klassieke *VRP* probeert de totaal afgelegde afstand van een set homogene voertuigen te minimaliseren terwijl aan de vraag van een bepaalde set klanten wordt voldaan onder de veronderstelling dat elk voertuig een enkele route bedient tijdens een planningsperiode (Molina, Eguia, & Racero, 2018). De afgelopen decennia zijn er veel uitbreidingen en varianten van het *VRP* gedefinieerd in de academische literatuur. Alhoewel er verschillende varianten van het *VRP* zijn, omvat het probleem vaak niet alle beperkingen en vereisten waarmee bedrijven te maken hebben (Molina et al., 2018). Zo is er veel kritiek op het bestaande *VRP* onderzoek omdat het zich sterk focust op de theorie en omdat vaak theoretische modellen werden opgesteld met veronderstellingen die in de praktijk niet realistisch zijn (Hoff et al., 2010).

Door de recente ontwikkeling van nieuwe en efficiëntere optimalisatiemethoden is de belangstelling voor onderzoek verschoven naar realistische *VRP*-varianten. Deze *Rich Vehicle Routing Problems* bevatten realistische optimalisatiefuncties, onzekerheid en meerdere *real-life* beperkingen met betrekking tot tijd- en afstandsfactoren, milieu- en energieproblemen en persoonlijke voorkeuren van routeplanners en bestuurders (Caceres-Cruz, Arias, Guimarans, Riera, & Juan, 2015).

Hoewel een menselijke planner vaak in staat is om binnen een redelijke tijd een haalbare routeplanning op te stellen voor kleine problemen, zijn handmatige oplossingen meestal niet optimaal wanneer er veel complexe beperkingen zijn, zoals tijdvensters en capaciteitsbeperkingen (Rademeyer & Lubinsky, 2017).

Om deze *Rich Vehicle Routing Problems* op te lossen kan een routeplanningssoftware gebruikt worden. Een softwarepakket voor routeplanning combineert een onderliggend algoritme met een gebruiksvriendelijke *interface* zodat het systeem optimaal gebruikt kan worden. De software lost het rittenplanningsprobleem op, het berekent automatisch de beste route rekening houdend met bepaalde beperkingen (Hosny, 2014).

Een routeplanningsstelsel kan de tijd die nodig is om transport te plannen drastisch verminderen. Routeplanningsstelsels verminderen bovendien ook het aantal gereden kilometers, verlagen het brandstofverbruik en de CO₂-uitstoot. Bovendien verbeteren ze ook de klantenservice. (Salter, 2015)

Het transportnetwerk wordt steeds complexer en indien transporteurs gebruik gaan blijven maken van handmatige routeplanning, gaat dit een negatief effect hebben op de winstgevendheid van het

transport (Murray, 2018). Het invoeren van routeplanningssoftware kan enorme besparingen opleveren, zowel op economisch als ecologisch vlak. (Hoff et al., 2010).

Manueel plannen is niet alleen inefficiënt en tijdrovend maar brengt ook het risico mee dat bedrijven niet aan de verwachtingen van de klant kunnen voldoen (Shamir, 2018). De verwachtingen van klanten in het digitale tijdperk liggen steeds hoger. Klanten verwachten dat leveringen betrouwbaar, snel en transparant zijn ("The Road to Route Planning," 2019). Een routeplanningstool zorgt voor een planning die voldoet aan alle restricties en betrouwbaarder is door gebruik te maken van data over weersverwachtingen en verkeersdrukke ("Slimmer transport vraagt om beter gebruik van data," 2019).

Een volledig geautomatiseerde routeplanning is zeldzaam. Manuele interventie is nodig om routes te verifiëren en indien nodig aan te passen (Gacias, Cegarra, & Lopez, 2012). Planners hebben kennis over bepaalde zaken die moeilijk in de softwareprogramma's gestoken kunnen worden. Zo werken bijvoorbeeld sommige chauffeurs efficiënter dan anderen bij het laden of lossen van goederen waardoor ze sneller dan verwacht een rit kunnen voltooien.

Gebruikers van softwareprogramma's geven aan dat de software die ze gebruiken niet altijd de snelheid van de vrachtwagens aanpast aan de verkeerssituatie. Veel bestaande modellen maken de assumptie dat reistijden doorheen de dag constant zijn en baseren zich op gemiddelde snelheden. De planning gaat dan sterk verschillen van de realiteit, waarin de reistijd en snelheid afhankelijk zijn van de verkeerssituatie. Tijdens de piek- en daluren gaan vrachtwagenchauffeurs niet even snel kunnen rijden. Indien er geen rekening wordt gehouden met congestie, gaan transporteurs de tijdsduur van een rit vaak onderschatten en kan dit leiden tot gemiste leveringen (Rincon-Garcia et al., 2018). Congestie kan verschillende oorzaken hebben. Sommige congesties zijn voorspelbaar zoals de files tijdens de spitsuren, andere zijn minder voorspelbaar zoals vertragingen veroorzaakt door verkeersongevallen. Congestie die veroorzaakt wordt door piekuren vormt ongeveer 70-87% van de totale congestie (Kok, Hans, & Schutten, 2012). Een groot deel van de vertragingen is dus voorspelbaar en transporteurs zouden hiermee rekening kunnen houden bij hun routeplanning.

Daarnaast wordt er in softwareprogramma's vaak ook geen rekening gehouden met de beperkingen die door de overheid worden opgelegd. Zo heeft de Europese Unie verplichte maximale rijtijden en minimale rusttijden opgelegd voor vrachtwagenchauffeurs binnen de EU-landen (Kleff et al., 2017). Wanneer deze restricties niet worden opgenomen in de routeplanningssoftware van transportbedrijven dan gaan de planners de routeplanning nog manueel moeten aanpassen zodat hun planning voldoet aan de regels van de Europese Unie.

Ook de ladingsbeperkingen worden niet altijd opgenomen in de commerciële routeplanningsprogramma's. Zo kan een bedrijf verschillende ladingsbeperkingen hanteren. Soms kan een voertuig enkel vanachter geladen worden, maar bepaalde voertuigen kunnen ook van de zijkant geladen worden.

Ook toegangsbeperkingen voor bepaalde wegen naar type voertuig, zijn vaak restricties die ontbreken bij softwareprogramma's voor routeplanning (Rincon-Garcia et al., 2018). Niet elk voertuig mag elke zone binnen of soms mogen vrachtwagens enkel tijdens bepaalde tijdsventers een zone binnen.

1.2 Centrale onderzoeksvraag

Uit de probleemstelling blijkt dat er veel onderzoek werd gedaan naar rittenplanningsproblemen, maar dat weinig of zelfs geen modellen de realiteit weerspiegelen en rekening houden met alle beperkingen die belangrijk zijn voor transporteurs. In deze masterproef wordt onderzocht welke beperkingen worden opgenomen in *Vehicle Routing Problems*. Een softwareprogramma voor routeplanning kan helpen om rittenplanningsproblemen met complexe realistische beperkingen op te lossen. Maar deze softwareprogramma's nemen vaak niet alle beperkingen op, met als gevolg dat de planning vaak afwijkt van de realiteit. Er wordt enerzijds gekeken hoe in de literatuur wordt omgegaan met dit probleem en anderzijds hoe bedrijven hier mee omgaan in de praktijk.

De centrale onderzoeksvraag van deze masterproef luidt als volgt: "Met welke beperkingen moeten transporteurs rekening houden om een zo realistisch mogelijke routeplanning te generen?"

1.3 Deelvragen

Om de centrale onderzoeksvraag te kunnen beantwoorden wordt eerst een antwoord gezocht op enkele deelvragen.

Eerst wordt in deze masterproef onderzocht welke varianten van het rittenplanningsprobleem er bestaan in de literatuur. Deze problemen zullen elk kort beschreven worden. Voor elk probleem wordt besproken welke beperkingen zij omvatten. Daarna wordt onderzoek gedaan naar *Rich Vehicle Routing Problems* in de wetenschappelijke literatuur. Hierbij wordt onderzocht welke realistische beperkingen bestaan en hoe deze worden opgenomen in de rittenplanning.

Bij gevolg luidt de eerste deelvraag: "Hoe wordt er in de literatuur omgegaan met realistische beperkingen bij rittenplanningsproblemen?"

Verder wordt in deze masterproef ook onderzocht hoe bedrijven rittenplanningsproblemen oplossen. Gebruiken zij software hiervoor of doen ze dit deels of volledig manueel?

Een tweede deelvraag luidt: "Hoe plannen transporteurs hun routes?"

Vervolgens wordt er onderzocht welke beperkingen bedrijven belangrijk vinden bij hun routeplanning en hoe zij omgaan met realistische beperkingen. Er wordt gekeken welke beperkingen zij opnemen in hun routeplanning en of hun planning de realiteit weerspiegelt. Ook wordt gekeken welke problemen zij ervaren in hun rittenplanning.

Een derde deelvraag luidt: "Met welke beperkingen moeten bedrijven rekening houden bij het plannen van ritten?"

1.4 Onderzoeksopzet

Om de eerste deelvraag te kunnen beantwoorden, wordt een uitgebreide literatuurstudie uitgevoerd. In deze literatuurstudie worden de varianten van het klassieke *Vehicle Routing Problem* onderzocht. Er wordt een globaal beeld gegeven van welke beperkingen worden opgenomen in rittenplanningsproblemen in de wetenschappelijke literatuur. Om gebruik te maken van wetenschappelijke artikelen wordt gebruik gemaakt van verschillende databanken, waaronder de bibliotheek van Universiteit Hasselt, EBSCOhost, Google Scholar, Web of Science en Science Direct.

Er wordt gezocht op onder andere de volgende zoektermen: "Rich VRP", "Rich Vehicle Routing Problems", "Route planning software", "Commercial vehicle routing software", "Truck routing", "Route optimization software", "Realistic VRPs" en "Multi-attribute Vehicle Routing Problems".

De tweede en derde deelvraag worden beantwoord door een kwalitatief onderzoek uit te voeren aan de hand van diepte-interviews. Er worden interviews afgenomen bij twee transportbedrijven: Lux Logistics en H.Essers. In deze praktijkstudie wordt onderzocht hoe bedrijven omgaan met beperkingen bij hun routeplanning en welke beperkingen het belangrijkste zijn voor hen. Vervolgens wordt ook nog een vergelijking gemaakt tussen de resultaten uit de literatuurstudie en de resultaten uit de praktijkstudie. Er wordt gekeken of concepten uit de theorie omtrent rittenplanningsproblemen toegepast worden in de praktijk.

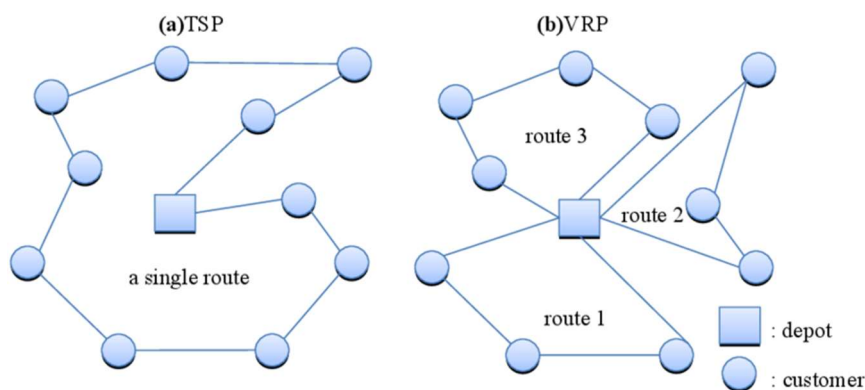
2. Literatuurstudie

2.1 Vehicle Routing Problem

2.1.1 Omschrijving Vehicle Routing Problem

Het *Vehicle Routing Problem (VRP)* of het rittenplanningsprobleem is een veralgemening van het *Traveling Salesman Problem (TSP)* of het handelsreizigersprobleem. In het handelsreizigersprobleem wordt de kortste route gezocht voor een handelsreiziger die vertrekt vanuit een bepaalde stad en enkele klanten moet bezoeken. Elke klant moet exact één keer bezocht worden en de route moet terug eindigen op de locatie waar het begonnen is. De volgorde waarin de klanten bezocht worden, moet zo bepaald worden dat de totale afstand van de route minimaal is. (Gutin, Punnen, & Gutin, 2002)

In 1959 introduceerden Dantzig en Ramser als eerste het *Truck Dispatching Problem*, dat modelleerde hoe een vloot van homogene vrachtwagens aan de vraag naar olie van een aantal tankstations kon voldoen, vertrekkend vanuit een centrale depot. Het doel bij dit probleem is de totale afstand minimaliseren (Dantzig & Ramser, 1959). In 1964 veralgemeenden Clarke & Wright dit probleem tot een lineair optimalisatieprobleem, dit werd later gedefinieerd als het *Vehicle Routing Problem (VRP)* (Clarke & Wright, 1964). In het *VRP* worden routes van meerdere voertuigen bepaald. Elke route begint bij het depot, bezoekt een aantal geografisch verspreide klanten en keert terug naar het depot. Elke klant wordt exact één keer bezocht. Het doel is om een reeks routes te vinden die alle klanten bezoeken zodat de totale kosten geminimaliseerd worden (Cherif-Khettaf et al., 2015). Figuur 1 geeft het verschil tussen het *TSP* en het *VRP* weer (Liu, Lin, Chiu, Tsao, & Wang, 2014). Bij het *VRP* zijn er in tegenstelling tot het *TSP* meerdere voertuigen beschikbaar, die elk een route kunnen uitvoeren.



Figuur 1: TSP versus VRP (Liu et al., 2014)

In de jaren 90 werd veel onderzoek gedaan naar het *VRP* omdat in deze jaren de computermogelijkheden snel evolueerden. Computers kregen meer geheugen en werden beschikbaar voor iedereen. Zo kon er meer onderzoek gedaan worden naar complexe algoritmes om het *VRP* op te lossen (Eksioglu, Vural, & Reisman, 2009).

Het *VRP* kan in veel verschillende contexten worden toegepast waaronder levering van drank naar restaurants, transport van geldmiddelen, het transport van brandstoffen, ophaling van afval, transport van goederen van magazijnen naar retailers, levering van post en kranten (Leyerer, Sonneberg, Heumann, Kammann, & Breitner, 2019).

Het *Capacitated Vehicle Routing Problem (CVRP)* is een fundamentele vorm van het *VRP* waarop meerdere varianten gebaseerd zijn. Het *CVRP* bepaalt optimale routes waarbij elk voertuig een beperkte capaciteit heeft. Elk voertuig legt slechts één route af zodat elke klant één keer door één voertuig bezocht wordt vanuit een centraal depot. Alle voertuigen zijn identiek en hebben een gelimiteerde capaciteit. De set van voertuigroutes en de volgorde van de klanten die bediend worden binnen deze routes worden bepaald zodat de totale kosten geminimaliseerd worden. De totale vraag van de klanten mag de maximum capaciteit van de voertuigen niet overschrijden. (Caceres-Cruz et al., 2015; Lahyani, Khemakhem, & Semet, 2015)

In de literatuur bestaan een groot aantal varianten en uitbreidingen van het *CVRP*. In sectie 2.1.2 worden deze varianten besproken. Verschillende auteurs hebben mathematische modellen opgesteld die het *CVRP* exact oplossen (Borcinova, 2017; Caceres-Cruz et al., 2015; Fukasawa et al., 2006; Lysgaard, Letchford, & Eglese, 2004; Ralphs, Kopman, Pulleyblank, & Trotter, 2003). Deze exacte methoden garanderen echter geen optimale oplossing voor grotere problemen. Daarom worden vaak heuristische en metaheuristische gebruikt om het rittenplanningsprobleem op te lossen. De verschillende oplossingsmethoden worden besproken in sectie 2.1.3. In sectie 2.2.1 wordt het *Rich Vehicle Routing Problem* gedefinieerd. Vervolgens worden in sectie 2.2.2 de beperkingen van rittenplanningsproblemen die voorkomen in de wetenschappelijke literatuur toegelicht. Verder wordt in sectie 2.2.3 een overzicht gemaakt van verschillende recente *Rich Vehicle Routing Problems*. Er wordt gekeken welke beperkingen worden opgenomen in deze rittenplanningsproblemen. Vervolgens worden in sectie 2.2.4 de resultaten uit sectie 2.2.3 vergeleken met de resultaten uit enkele andere overzichtspapers. Ten slotte wordt in sectie 2.2.5 een conclusie van de literatuurstudie geformuleerd.

2.1.2 Varianten Vehicle Routing Problem

Het klassieke *CVRP* is op veel manieren uitgebreid door meer aspecten of kenmerken op te nemen in het model, resulterend in een groot aantal varianten van het *CVRP*.

Deze wetenschappelijke varianten komen nauwelijks in hun pure vorm voor in de praktijk maar het is belangrijk om deze te bestuderen omdat deze gebruikt kunnen worden als basis voor realistische *VRP's* (Drexler, 2012).

2.1.2.1 Vehicle Routing Problem with Time Windows (VRPTW)

Een andere extensie van het *VRP*, het *VRP* met *Time Windows (VRPTW)*, neemt één of meerdere tijdsvensters op in het rittenplanningsprobleem. Tijdsvensters worden meestal opgelegd aan klanten maar dit kan ook aan depots, chauffeurs en wegen (Leyerer et al., 2019). Het *VRPTW* kan opgesplitst worden in twee verschillende categorieën. Een tijdsvenster kan zacht of hard zijn. Indien het tijdsvenster hard is, dan moet het voertuig op tijd aankomen. Als het voertuig te vroeg is dan moet de chauffeur wachten tot de klant beschikbaar is. Als een chauffeur te laat aankomt dan kan de klant niet meer bediend worden. Bij zachte tijdsvensters wordt een extra kost aangerekend als de chauffeur te laat arriveert en de beperking met het tijdsvenster geschonden wordt. Een tijdsvenster kan ook

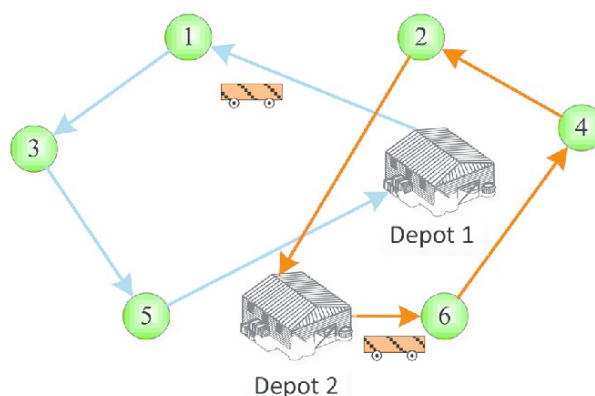
worden opgelegd aan het depot. Zo kan het depot enkel open zijn tussen bepaalde uren. Ook kan er een tijdsvenster worden opgelegd aan bepaalde wegen. Sommige wegen mogen enkel door chauffeurs betreden worden tussen bepaalde uren. (de Armas, Melián-Batista, Moreno-Pérez, & Brito, 2015; Lahyani et al., 2015).

2.1.2.2 Heterogenous Fleet Vehicle Routing Problem (HVRP)

In dit probleem zijn niet alle voertuigen identiek, de capaciteit van de verschillende voertuigen verschilt. Deze capaciteit wordt meestal uitgedrukt in gewicht, volume, laadmeter of het aantal palletten. Voertuigen kunnen ook verschillen in technische uitrusting. Bepaalde voertuigen kunnen bijvoorbeeld beschikken over een laadlift of heftruck. Het *Heterogenous Fleet Vehicle Routing Problem* wordt ook wel het *Mixed Fleet Vehicle Routing Problem* genoemd. Een variant op dit probleem is het *Fleet Size and Mix Vehicle Routing Problem (FSMVRP)*. In deze variant is het aantal voertuigen ongelimiteerd. Een andere variant van het HVRP is het *Site-Dependent Vehicle Routing Problem (SDVRP)*, hierin kan een bepaald type voertuig sommige klanten niet bereiken (Caceres-Cruz et al., 2015). Bepaalde klanten kunnen in dit probleem enkel bediend worden door bepaalde voertuigen met specifieke kenmerken (Rincon-Garcia et al., 2018). Het *Heterogenous Fleet Vehicle Routing Problem with multiple use of of vehicles (HVRPM)* is nog een andere variant van het HVRP. In dit probleem kan een voertuig meer dan één route uitvoeren (Caceres-Cruz et al., 2015).

2.1.2.3 Multi-Depot Vehicle Routing Problem (MDVRP)

In dit probleem zijn er meerdere depots. Meestal moeten de routes eindigen in hetzelfde depot als waar ze begonnen zijn (Contardo & Martinelli, 2014; Salhi, Imran, & Wassan, 2014). Figuur 2 geeft een rittenplanningsprobleem met twee depots weer. Bepaalde klanten worden bediend vanuit het eerste depot en de andere vanuit het tweede depot. Deze depots kunnen verschillende eigenschappen hebben, zo verschilt de locatie van elk depot en mogelijk ook de capaciteit. Daarom moeten extra beperkingen toegevoegd worden zodat elk voertuig toegekend wordt aan slechts één depot. (Wang, Lu, Wei, Ji, & Yang, 2016).

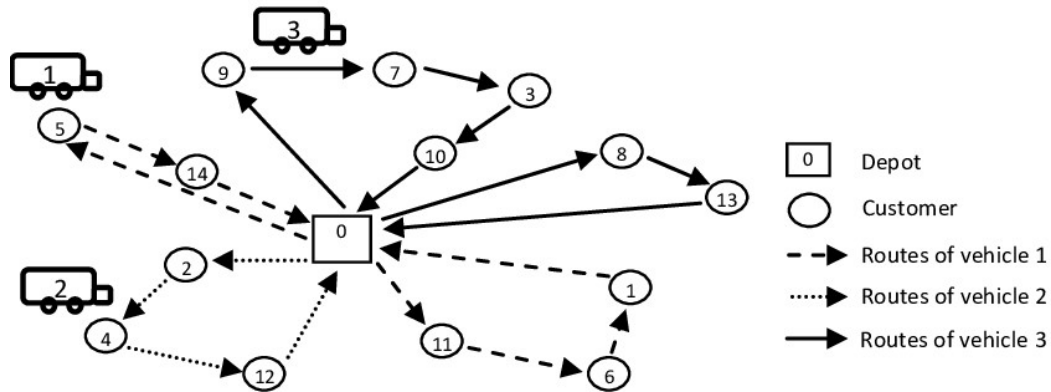


Figuur 2: Multi-depot Vehicle Routing Problem (Wang, Lu, Wei, Ji, & Yang, 2016)

Soms kunnen routes ook eindigen in een ander depot dan vanwaar ze vertrokken zijn. Hierdoor gaan sommige routes een verschillend start- en eindpunt hebben (Mancini, 2016).

2.1.2.4 Multi-Trip Vehicle Routing Problem (MTVRP of VRPMT)

In dit probleem mag eenzelfde voertuig meerdere routes uitvoeren tijdens een planningsperiode. Figuur 3 geeft het *Multi-Trip Vehicle Routing Problem* weer. De routes vertrekken vanuit en eindigen altijd in eenzelfde depot. In dit voorbeeld zijn drie voertuigen beschikbaar. Aan elk voertuig wordt een maximale rijtijd opgelegd. Een voertuig voert één route uit en de andere twee voertuigen voeren elk twee routes uit. (Ayadi & Benadada, 2013)



Figuur 3: Multi-Trip Vehicle Routing Problem (Ayadi & Benadada, 2013)

2.1.2.5 Vehicle Routing Problem with Pick Up and Delivery (VRPDP)

In het *Vehicle Routing Problem with Pick Up and Delivery (VRPDP)* worden goederen opgehaald op een bepaalde plaats en afgeleverd op een andere locatie. De goederen van een klant worden opgehaald en afgeleverd met eenzelfde voertuig en moeten dus in eenzelfde route gebeuren (Tasan & Gen, 2012). Een variant hiervan is het *Simultaneous Pickup-and Delivery VRP*, hierin moeten de voertuigen items ophalen bij een bepaalde klant en tegelijkertijd ook goederen leveren bij diezelfde klant. Dit komt voor wanneer er meerdere diensten geleverd worden. Een voorbeeld hiervan is de distributie van drank in glas. Volle flessen worden geleverd aan de klant en lege flessen worden mee terug genomen van de klant naar het depot voor hergebruik of recycling (Çatay, 2010).

Een andere variant is het *Vehicle Routing Problem with Backhauls (VRPB)*. Deze uitbreiding houdt rekening met twee soorten klanten: *Linehaul* klanten waarvoor goederen van het depot naar de klant getransporteerd moeten worden en *backhaul* klanten waarvoor goederen van de klant naar het depot vervoerd moeten worden. Bij het *VRPB* moeten alle *linehaul* klanten bediend worden voor de *backhaul* klanten (Cuervo, Goos, Sörensen, & Arráiz, 2014). Bij het *VRPDP* daarentegen mogen *backhaul* klanten al bediend worden voordat alle *linehaul* klanten bediend zijn.

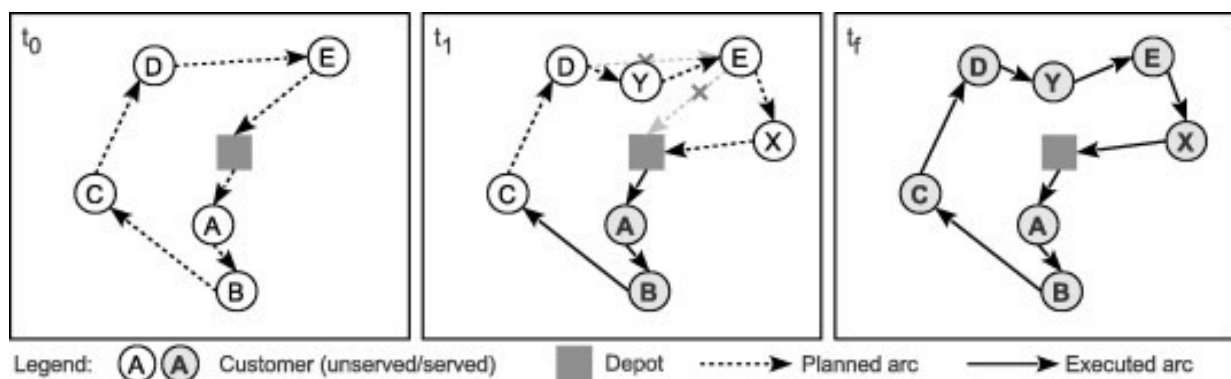
2.1.2.6 Asymmetric Cost Matrix Vehicle Routing Problem (AVRP)

Om het *CVRP* op te lossen wordt een matrix opgesteld met de reiskosten van het ene knooppunt naar het andere. In veel rittenplanningsproblemen worden de locaties bepaald door eenvoudige coördinaten op een 2D-vlak en worden de afstanden berekend met een Euclidische formule. Dit resulteert in symmetrische kosten. De kost van klant i naar klant j is gelijk aan de kost van klant j naar klant i ($C_{ij}=C_{ji}$). De euclidische afstand komt niet overeen met de werkelijke afstand tussen twee knooppunten. Wanneer men rekening houdt met de structuur van het wegennet met waaronder rotondes en eenrichtingsstraten, gaat de afstandsmatrix asymmetrisch zijn. Wanneer er rekening

wordt gehouden met de werkelijke afstanden, gaat de kost van klant i naar klant j niet gelijk zijn aan de kost van klant j naar klant i ($C_{ij} \neq C_{ji}$). (Herrero, Rodríguez Villalobos, Cáceres-Cruz, & Juan, 2014)

2.1.2.7 Dynamic Vehicle Routing Problem (DVRP)

In het *Dynamic Vehicle Routing Problem* kan de rittenplanning die op voorhand opgesteld is nog aangepast worden tijdens de rit. Wanneer er nieuwe informatie ter beschikking wordt gesteld tijdens de uitvoering van de rit over parameters die wijzigen, kan de route aangepast worden. De meest voorkomende dynamische elementen zijn nieuwe klantenorders, die verwerkt moeten worden in de route. Maar ook de vraag, reistijden en service tijden kunnen dynamisch zijn (Flatberg, Hasle, Kloster, Nilssen, & Riise, 2007; Psaraftis, Wen, & Kontovas, 2016). Figuur 4 geeft een voorbeeld van een *Dynamic VRP* weer. De eerste afbeelding geeft de geplande route weer. Op de tweede afbeelding worden er nadat klant A en B bediend zijn, twee nieuwe klanten X en Y toegevoegd aan de rit. De route wordt aangepast tijdens het uitvoeren van de rit. De laatste afbeelding geeft de werkelijke route weer die werd uitgevoerd, die verschilt van de geplande route in de eerste afbeelding (Pillac, Gendreau, Guéret, & Medaglia, 2013).



Figuur 4: Dynamic Vehicle Routing Problem (Pillac et al., 2013)

2.1.2.8 Dial-a-ride Problem (DARP)

Dit probleem gaat over vraaggericht transport van personen. De passagiers doen een aanvraag van transport. Ze moeten hun ophaalpunt, hun afleverpunt en het aantal passagiers opgeven. Er kunnen ook extra beperkingen zoals de vroegste vertrektijd opgenomen worden bij dit probleem. In het statische *DARP* vraagt de passagier vooraf om de dienst en wordt de route van de voertuigen bepaald voordat de route start. In het dynamische *DARP* kan de passagier een aanvraag voor transport doen terwijl de route al bezig is en worden de routes aangepast. Het doel van het *DARP* is om de transportkosten te minimaliseren en een goede klantenservice te leveren. Vaak is er een maximumcapaciteit van personen die in het voertuig passen. Passagiers die afzonderlijk verzoeken hebben gedaan kunnen ook in eenzelfde voertuig vervoerd worden zolang de capaciteit van dat voertuig niet overtreden wordt. (Kirchler & Calvo, 2013)

Een veel voorkomende toepassing van vraaggericht transport is het transport van ouderen en gehandicapten. Deze mensen kunnen vaak geen gebruik maken van openbaar vervoer omdat het openbaar vervoer vaak niet voldoet aan hun behoeften (Chevrier, Liefoghe, Jourdan, & Dhaenens, 2012). Qu & Bard (2015) modelleren een *DARP* voor een aantal ouderen die opgehaald moeten

worden van hun woning binnen een bepaald tijdsvenster en vervoerd worden naar een dokterspraktijk of een activiteitscentrum. Later in de dag worden ze terug gebracht naar hun woonplaats op een tijdstip dat de ouderen zelf kunnen kiezen (Qu & Bard, 2015). Ook in landelijke gebieden waar geen openbaar vervoer is, worden vraaggerichte transportdiensten gebruikt (Parragh & Schmid, 2013). Een ander voorbeeld van een *DARP* is het transport van patiënten naar ziekenhuizen en van ziekenhuizen terug naar de woning van de patiënten (Schilde, Doerner, & Hartl, 2011).

2.1.2.9 Distance-Constrained Vehicle Routing Problem (DCVRP/DVRP)

In het *Distance-Constrained Vehicle Routing Problem* is de totaal afgelegde afstand van elk voertuig kleiner of gelijk aan de maximum afgelegde afstand. Deze afstandsbeperking kan toegevoegd worden omdat een voertuig een brandstofcapaciteit heeft. Yusuf, Baba & Iksan (2014) stellen een *DCVRP* op waarbij elk schip een verschillende tankinhoud heeft. Het schip moet terug keren naar het depot voordat de tank leeg is. Daarom wordt in het probleem een beperking toegevoegd met de maximale afstand die het schip mag afleggen (Yusuf, Baba, & Iksan, 2014).

2.1.2.10 Green Vehicle Routing Problem (GVRP)

In deze variant worden beperkingen opgenomen die rekening houden met milieuproblemen. In de literatuur bestaat geen algemene definitie voor het *GVRP*. Erdogan en Miller-Hooks (2012) introduceerden het *GVRP*. Zij stelden een uitbreiding van het *VRP* op waarbij de voertuigen een beperkte brandstofcapaciteit hadden (Erdoğan & Miller-Hooks, 2012). Het *GVRP* wordt vaak gebruikt in problemen waar de brandstoffen geminimaliseerd moeten worden (Jemai, Zekri, & Mellouli, 2012). In andere studies wordt er over het *GVRP* gesproken wanneer de voertuigen alternatieve brandstoffen gebruiken (Montoya, Guéret, Mendoza, & Villegas, 2016).

2.1.2.11 Vehicle Routing Problem met ladingsbeperkingen

In dit rittenplanningsprobleem wordt rekening gehouden met ladingsbeperkingen. Een soort *VRP* met ladingsbeperkingen is het *Two-Dimensional Loading Vehicle Routing Problem (2L-CVRP)*, het combineert het *CVRP* met en het 2-dimensionale *Bin Packing Problem*. In het *2L-CVRP* wordt de voertuigcapaciteit bepaald door het gewicht en een tweedimensionaal oppervlak, waarin een aantal rechthoekige producten moet passen. Het *2L-CVRP* gaat ervan uit dat goederen niet gestapeld kunnen worden (Zhu, Qin, Lim, & Wang, 2012). In het *Three-Dimensional Loading Vehicle Routing Problem (3L-CVRP)* moet elk voertuig een driedimensionaal verpakkingsprobleem aanpakken. Het totale gewicht en de laadruimte van de producten mogen het maximale gewicht en volume van het voertuig niet overschrijden.

In de literatuur bestaan verschillende ladingsbeperkingen. Alle producten mogen niet altijd op elkaar gestapeld worden omdat ze bijvoorbeeld te fragiel of te zwaar zijn. Dit komt vaak voor bij producten zoals keukenapparatuur en grote mechanische componenten. (Fuellerer, Doerner, Hartl, & Iori, 2009; Leung, Zhou, Zhang, & Zheng, 2011) Een andere ladingsbeperking is orthogonaliteit. Dit wil zeggen dat elk item geladen moet worden met zijn randen evenwijdig aan de randen van het voertuig. Deze beperking wordt toegevoegd omdat het makkelijker en veiliger is om de goederen te lossen met een vorkheftruck wanneer de vork en het item parallel zijn aan elkaar (Füllerer, 2008). Er bestaan ook beperkingen die te maken hebben met de volgorde van het laden. Meestal worden de orders *LIFO (Last in first out)* geladen. Wanneer klant *i* voor klant *j* bezocht wordt, moet het

mogelijk zijn om alle items van klant i door de achter opening van het voertuig te lossen zonder dat items van klant j verschoven moeten worden (Fuellerer et al., 2009; Ruan, Zhang, Miao, & Shen, 2013; Zhang, Cai, Ye, Si, & Nguyen, 2017).

2.1.2.12 Open Vehicle Routing Problem (OVRP)

Het *OVRP* wordt gekenmerkt door een open netwerk. De chauffeur moet op het einde van de route niet terugkeren naar het depot. Dit probleem komt vaak voor wanneer een bedrijf over geen of over niet genoeg voertuigen beschikt en er gebruik wordt gemaakt van onderaannemers of een logistieke dienstverlening (Vincent, Jewpanya, & Redi, 2016). De oplossing van het *OVRP* geeft dan het aantal voertuigen aan dat nodig is om de routes uit te voeren. Dit probleem wordt bijvoorbeeld ook toegepast in een context waar pakjes of kranten geleverd moeten worden aan klanten (Sedighpour, Ahmadi, Yusefikhoshbakht, Didehvar, & Rahmati, 2014). Nadat de ritten zijn uitgevoerd, keren de chauffeurs rechtstreeks terug naar hun woning zonder eerst naar het depot terug te keren. Deze voertuigen kunnen dan bij een volgende route ook terug vertrekken vanuit het huis van de chauffeurs.

2.1.2.13 Periodic Vehicle Routing Problem (PVRP)

In dit probleem moet een klant op één of meerdere specifieke dagen bezocht worden tijdens een planningsperiode. De klantenorders zijn op voorhand bekend en hebben een vaste hoeveelheid. Een variant van het *PVRP* is het *Consistent Vehicle Routing Problem*. Hierin moet een klant bezocht worden door hetzelfde voertuig op ongeveer hetzelfde tijdstip in verschillende perioden. Dit probleem wordt toegepast wanneer er frequente kleine leveringen aan een klant worden gedaan en bedrijven hun klanten een goede service willen geven. Door een bepaalde klant altijd door dezelfde chauffeur te laten bedienen, wordt er wederzijds vertrouwen opgebouwd. (Groër, Golden, & Wasil, 2009)

2.1.2.14 Split-Delivery Vehicle Routing Problem (SDVRP)

In dit probleem kan een klant bediend worden door meerdere voertuigen als dit de totale kost minimaliseert. Dit is in contrast met het klassieke *VRP* waarin elke klant slechts door één voertuig bediend kan worden (Archetti & Speranza, 2012).

2.1.2.15 Stochastic Vehicle Routing Problem (SVRP)

In het *Stochastic Vehicle Routing Problem* zijn één of meerdere parameters stochastisch. Dit betekent dat het model onzekerheid bevat en het model parameters bevat met kansverdelingen. De stochastische parameters die het meest in de literatuur bestudeerd zijn, zijn de vraag van de klanten, bedieningstijd en reistijd. (Flatberg et al., 2007; Ritzinger, Puchinger, & Hartl, 2016)

2.1.2.16 Time-Dependent Vehicle Routing Problem (TDVRP)

Dit probleem houdt er rekening mee dat de reistijden kunnen verschillen doorheen de dag. Tijdens de piekuren gaan chauffeurs langer over een bepaalde route doen dan tijdens de daluren (Rincon-Garcia et al., 2018). Ook de weersomstandigheden of ongevallen kunnen een invloed hebben op de reistijd.

2.1.2.17 Geïntegreerde beslissingsmodellen

Productie- en transportplanning moeten als een geheel gezien worden. Vaak worden transport- en productiebeslissingen als onafhankelijk gezien en worden ze apart gemaakt. De hele *supply chain* moet geoptimaliseerd worden. Wanneer beslissingen over productie en transport tegelijkertijd worden gemaakt, dan stijgt de efficiëntie en dalen de kosten (Díaz-Madroño, Peidro, & Mula, 2015).

Een voorbeeld van een geïntegreerd beslissingsmodel is het *Inventory Routing Problem (IRP)*. In dit model wordt het *VRP* uitgebreid door voorraadbeperkingen op te leggen. Niet enkel de routes worden bepaald maar ook de hoeveelheid die geleverd moet worden aan elke klant. Deze hoeveelheid wordt bepaald door te kijken naar voorraadmiveaus van de klanten. Hierdoor kunnen voorraadtekorten vermeden worden. In dit probleem moet ook het tijdstip van de levering bepaald worden op basis van de voorraadpositie en het aanvullingsbeleid van de klanten (Mehrjerdi, 2015).

Een ander voorbeeld is het *Production Routing Model*. In een *Production Routing Model* moet beslist worden hoeveel eenheden gemaakt moeten worden, wanneer de klanten bezocht moeten worden, hoeveel geleverd moet worden aan een klant tijdens een bezoek en welke routes de voertuigen moeten afleggen. De productie, de voorraad en het transport worden tegelijkertijd geoptimaliseerd. (Lahyani et al., 2015)

Een ander voorbeeld van een geïntegreerd beslissingsmodel is het *Location Routing Problem (CRP)*. Dit probleem tracht de locatie van het depot en de routes te bepalen. (Lahyani et al., 2015)

2.1.2.18 Beperking naamgeving varianten

Om de verschillende varianten van rittenplanningsproblemen te definiëren gebruiken auteurs initialwoorden, waarbij diverse voor- en achtervoegsels de aanwezigheid van verschillende assumpties en beperkingen aanduiden. Aangezien steeds meer complexe varianten van het *VRP* bestaan, bestaan er steeds meer en langere initialwoorden en afkortingen in de academische literatuur. Volgens Cherif-Khettaf et al. (2015) is dit systeem inefficiënt. Zo bestaan er in de literatuur twee varianten van het rittenplanningsprobleem die eenzelfde afkorting hebben (Cherif-Khettaf et al., 2015). De afkorting *DVRP* wordt voor zowel het *Dynamic Vehicle Routing Problem* (Psaraftis et al., 2016) als het *Distance-constrained Vehicle Routing Problem* (Kara, 2011) gebruikt. Voor zowel het *General Vehicle Routing model* (Goel & Gruhn, 2008) als voor het *Green Vehicle Routing Problem* (Lin, Choy, Ho, Chung, & Lam, 2014) wordt de afkorting *GVRP* gebruikt. Ook de afkorting *SDVRP* wordt gebruikt voor verschillende problemen, deze afkorting is van toepassing op zowel het *Split-delivery Vehicle Routing Problem* (Archetti & Speranza, 2012) als het *Site-dependent Vehicle Routing Problem* (Schwarze, 2016).

Bovendien geven auteurs ook in verschillende wetenschappelijke artikels verschillende afkortingen aan eenzelfde probleem (Cherif-Khettaf et al., 2015). Voor het *Distance-Constrained Vehicle Routing*

Problem worden de afkortingen *DCVRP* (Tlili, Faiz, & Krichen, 2014) en *DVRP* (Kara & Derya, 2011) gebruikt. Voor de problemen *Multi-Trip Vehicle Routing Problem* en *Vehicle Routing Problem with Multiple Trips* worden de afkortingen *MTVRP* (Cattaruzza, Absi, & Feillet, 2016) en *VRPMT* (Nourma, Ridwan, & Aurachman, 2018) gebruikt terwijl deze problemen identiek zijn. De afkortingen *MVRPB*, *PDP* en *VRPPD* staan respectievelijk voor *Mixed Vehicle Routing Problems with Backhauls, Pick Up and Delivery Problems, Vehicle Routing Problems with Pickups and Deliveries*. Deze problemen zijn identiek, ze bevatten dezelfde beperkingen en doelfuncties (Cherif-Khettaf et al., 2015).

In de literatuur worden dus heel wat varianten van het *CVRP* besproken. Alhoewel deze varianten in hun klassieke vorm zelden in praktijk voorkomen is het toch belangrijk om deze te bespreken. In de praktijk worden de beperkingen van deze klassieke modellen vaak gecombineerd om een realistisch rittenplanningsprobleem op te stellen.

2.1.3 Oplossingsmethoden Vehicle Routing Problem

Het rittenplanningsprobleem kan manueel opgelost worden door een planner of automatisch door een softwareprogramma. Vaak wordt ook gebruik gemaakt van de combinatie van een software en een manuele planner.

Het aantal oplossingsmethoden in de academische literatuur voor *VRP's* is sterk toegenomen de afgelopen jaren. Bovendien is ook de verwerkingssnelheid en de geheugencapaciteit van computers toegenomen en kunnen grotere *VRP's* makkelijker opgelost worden.

Exacte methoden kunnen gebruikt worden voor *VRP's* die klein tot medium groot zijn. Dit zijn problemen met relatief simpele beperkingen die ongeveer 75-100 klanten hebben. Medium tot grote problemen (problemen met meer dan 100 klanten) die complexe beperkingen bevatten, kunnen opgelost worden met heuristieken en metaheuristieken die bijna optimale oplossingen geven. Metaheuristieken lossen problemen sneller op, kunnen grotere problemen oplossen en bevatten meer robuuste algoritmes (Caceres-Cruz et al., 2015).

Het rittenplanningsprobleem wordt opgelost door gebruik te maken van een combinatie van routeplanningssoftware en menselijke transportplanners. De rittenplanning wordt meestal door één persoon opgesteld en uitzonderlijk door een team individuen (Gacias et al., 2012). Planners wijzen meestal orders van klanten die dicht bij elkaar liggen toe aan eenzelfde voertuig, rekening houdend met tijdsvensters van elk van die klanten. Maar beperkingen die onzekerheden bevatten zoals variabele reistijden kunnen planners moeilijk mee opnemen in de routeplanning. Wanneer veel complexe beperkingen moeten worden opgenomen in de planning dan heeft men een planningsstelsel nodig. (Gupta, Heng, Ong, Tan, & Zhang, 2017)

Computerised Vehicle Routing and Scheduling Systems (CVRS) zijn software pakketten die gebruikt worden om routes te generen en te optimaliseren. *CVRS* is vaak deel van het Transport Management System. Transportplanners kunnen de routes die uit het *CVRS* gegenereerd worden verder optimaliseren met hun kennis en ervaring. Het implementeren van een *CVRS* levert veel voordelen op. De transportkost daalt en er is een reductie in brandstofconsumptie en milieu impact. Ook gaat er een verbeterde klantenbediening zijn. Bovendien is er minder afhankelijkheid van individuele vaardigheden. Maar het gebruiken van een *CVRS* gaat ook gepaard met enkele nadelen. De implementatie van de software is vaak complex. Vaak is een *CVRS* niet flexibel genoeg, en bevat de software niet alle beperkingen die moeten worden opgenomen in de routeplanning. (Drexl, 2012)

2.1.3.1 Exacte oplossingsmethoden

Exacte methoden worden gebruikt om kleine tot medium problemen op te lossen die relatief simpele beperkingen bevatten. Exacte methoden geven optimale oplossingen. Er bestaan veel verschillende exacte methoden. Een voorbeeld hiervan is het *Branch-and-X*, de X staat voor verschillende methoden zoals *Branch and Bound*, *Branch and Cut*, *Branch and Cut and Price*. Een andere methode is dynamisch programmeren (Caceres-Cruz et al., 2015).

Voor grotere problemen duren exacte methoden te lang en nemen ze te veel geheugen in. Volgens Drexl (2012) kunnen rittenplanningsproblemen met meer dan 200 klanten niet consistent opgelost

worden met exacte methoden (Drexl, 2012). Daarom wordt in de literatuur meestal gebruik gemaakt van benaderende methoden om het *VRP* en varianten op te lossen.

2.1.3.2 Heuristieken en Metaheuristieken

Heuristieken en metaheuristieken bieden bijna optimale oplossingsmethoden voor medium tot grote problemen met meer complexe beperkingen. Heuristieken vinden goede oplossingen voor grote problemen. Het is niet gegarandeerd dat de oplossing optimaal is. Heuristieken zijn opgesteld voor een specifiek probleem. Metaheuristieken hebben als doel problemen sneller op te lossen, grotere problemen op te lossen en meer robuuste algoritmen op te stellen. Metaheuristieken kunnen veralgemeend worden en kunnen toegepast worden om bijna elk optimalisatieprobleem op te lossen. Metaheuristieken geven accepteerbare oplossingen op een snelle manier en kunnen grote complexe problemen oplossen. Voorbeelden hiervan zijn het *Tabu Search*, *Simulated Annealing*, *Ant Systems* en *Genetic Algorithm*. (Caceres-Cruz et al., 2015)

2.1.3.3 Conclusie oplossingsmethoden Vehicle Routing Problem

In de literatuur zijn veel verschillende oplossingsmethoden voorgesteld voor rittenplanningsproblemen. Metaheuristieken worden vaak verkozen boven exacte methoden omdat ze toegepast kunnen worden op grote problemen met complexe beperkingen. In de literatuur worden ook steeds meer oplossingsmethoden voor rittenplanningsproblemen met veel complexe beperkingen besproken. Bovendien is een metaheuristiek niet enkel toepasbaar op één specifiek probleem maar op meerdere soorten rittenplanningsproblemen.

2.2 Rich Vehicle Routing Problem

2.2.1 Definitie Rich Vehicle Routing Problem

In de afgelopen jaren is vanwege de snelle ontwikkeling van nieuwe en efficiëntere optimalisatie- en computermethoden de belangstelling verschoven naar realistische *VRP*-varianten, die bekend staan als *Rich Vehicle Routing Problems*. In deze problemen worden realistische beperkingen opgenomen met betrekking tot tijd- en afstandsfactoren, koppeling met inventaris- en planningsproblemen, integratie met ICT, milieu- en energievraagstukken. In het *Rich VRP* worden meerdere varianten van het rittenplanningsprobleem, die besproken worden in sectie 2.1.2, samengevoegd. (Caceres-Cruz et al., 2015)

Alhoewel de literatuur over het *VRP* heel uitgebreid is, is de literatuur over *Rich VRP's* eerder beperkt. Het is een nieuw concept dat steeds meer aandacht begint te krijgen. De laatste jaren is de focus in de *VRP* literatuur verschoven naar *Rich VRP's* waarin meerdere *real-life* beperkingen worden opgenomen.

In de literatuur bestaat geen consensus over welke problemen *Rich VRP's* zijn en welke een nieuwe variant zijn van het *VRP*. Lahyani et al. (2015) koppelen alle beperkingen die in de rittenplanning worden opgenomen aan beslissingsniveaus van het bedrijf. Het strategisch niveau bevat beslissingen met betrekking tot locatie van depots, het aantal gebruikte depots en het data type. Beperkingen op tactisch niveau bepalen het type order en de bezoekfrequenties van klanten over een bepaalde tijdshorizon. Beperkingen op operationeel niveau hebben te maken met dagelijkse beslissingen. Volgens Lahyani et al. (2015) breidt een *Rich VRP* de academische varianten van de *VRP* uit door ten minste vijf strategische of tactische aspecten en zes verschillende dagelijkse beperkingen in het probleem op te nemen (Lahyani et al., 2015).

Bovendien gebruiken sommige auteurs de term *Rich VRP* niet, maar behandelen de beschreven modellen wel verscheidene beperkingen en hebben ze als doel de realiteit te weerspiegelen. Soms worden *Rich VRP's* ook *Multi-attribute VRP's* genoemd. (Leyerer et al., 2019)

In de literatuur wordt ook het *General Vehicle Routing Problem* besproken. Dit model combineert sommige uitbreidingen van de klassieke varianten en neemt ook *real-life* beperkingen op. Dit model zou ook gezien kunnen worden als een *Rich VRP*. (Goel & Gruhn, 2008)

In de literatuur bestaat geen algemeen aanvaarde definitie van het *Rich VRP*, verschillende auteurs definiëren het *Rich VRP* anders. De problemen die onder *Rich VRP's* vallen hebben allemaal de eigenschap dat ze meerdere realistische beperkingen opnemen, gericht op een betere weergave van de realiteit.

2.2.2 Beperkingen Rich Vehicle Routing Problems

In het *VRP* worden afhankelijk van het probleem verschillende beperkingen opgenomen. Enkele algemene beperkingen van het *CVRP* worden in alle varianten in de literatuur opgenomen. Een standaardbeperking van het *CVRP* is *vehicle capacity*. De capaciteit van alle voertuigen is beperkt.

Aan het klassieke *CVRP* kunnen heel wat beperkingen worden toegevoegd. Deze beperkingen worden ook wel attributen genoemd. Beperkingen kunnen hard of zacht zijn. Aan harde beperkingen moet voldaan worden. Wanneer een harde beperking wordt overtreden, dan is de oplossing van het rittenplanningsprobleem niet geldig. Wanneer een zachte beperking overtreden wordt, dan is de oplossing van de routeplanning nog steeds geldig. Als een zachte beperking overtreden wordt dan wordt er een *penalty* kost aangerekend. Soms kan een beperking ook zacht zijn tot een bepaalde drempelwaarde en vanaf deze waarde hard worden. (Drexl, 2012)

Tabel 1 geeft een overzicht van de beperkingen die het meeste voorkomen in de literatuur. Deze beperkingen komen in verschillende combinaties voor bij verschillende rittenplanningsproblemen. Hieronder wordt elk van deze beperkingen besproken. De lijst met beperkingen in Tabel 1 geeft niet alle beperkingen weer die in de literatuur bestaan. Deze tabel bevat de beperkingen die het vaakst werden opgenomen in recente rittenplanningsproblemen.

Afkorting	Beperking
BR	Gebalanceerde routes
CA	Asymmetrische kostenmatrix
CV	Voertuigen met compartimenten
DR	Rij- en rusttijden
EV	Milieu gerelateerde beperkingen
HV	Heterogene vloot
IC	Incompatibiliteiten
IN	Beperkingen i.v.m. voorraadniveau
LC	Ladingsbeperkingen
LR	Beperkingen m.b.t. duur van de route
MD	Meerdere depots
MO	Meerdere doelfuncties
MP	Meerdere periodes
MT	Meerdere ritten
MV	Deelleveringen
OD	Uitbestedingsbeslissingen
OR	Open routes
OV	Optionele orders
PC	Voorrangsbeperkingen
PD	Afhalen en afleveren
PoC	Prioriteitsbepaling van klanten
PS	Simultaan afhalen en afleveren
SD	Stochastische/dynamische vraag
TD	Tijdsafhankelijke reistijden
TW	Tijdsvensters

Tabel 1: Beperkingen Rich VRP's

Gebalanceerde routes

Deze beperking wordt opgelegd wanneer de lading gelijk verdeeld moet worden tussen routes of wagens. De werkdruk moet gelijk verdeeld worden in termen van afstand, tijd of geladen hoeveelheid (Caceres-Cruz et al., 2015).

Asymmetrische kostenmatrix

Een asymmetrische kostenmatrix houdt in dat de kost van klant i naar klant j verschillend kan zijn van de kost van klant j naar klant i. Het opnemen van een asymmetrische kostenmatrix bij het rittenplanningsprobleem wordt meer in detail besproken in sectie 2.1.2.6. Wanneer deze beperking niet wordt opgenomen dan wordt er vanuit gegaan dat de kosten symmetrisch zijn. (Herrero et al., 2014)

Voertuigen met compartimenten

Deze beperking wordt opgenomen in het rittenplanningsprobleem indien er voertuigen zijn die meerdere compartimenten hebben. Deze beperking is vooral relevant wanneer er verschillende soorten producten vervoerd worden en deze tijdens het transport gescheiden worden. Meerdere compartimenten worden bijvoorbeeld gebruikt bij ophaal van afval, het vervoer van goederen die op verschillende temperaturen bewaard moeten worden, om verschillende brandstoffen te vervoeren of om dieren te vervoeren. (Lahyani et al., 2015)

Rij- en rusttijden

Dit zijn beperkingen die te maken hebben met de wetsregeling rond rij- en rusttijden van de chauffeurs. Er is een limiet op het aantal uur dat een chauffeur kan werken per dag en per week. Bovendien is er ook een maximum op het aantal uur dat een chauffeur mag werken aan stuk zonder een pauze te nemen. (Derigs, Kurowsky, & Vogel, 2011)

Milieu gerelateerde beperkingen

Soms worden in het rittenplanningsprobleem ook beperkingen opgenomen die te maken hebben met het milieu. In sectie 2.1.2.10 wordt het *Green Vehicle Routing Problem* besproken, waarbij er rekening wordt gehouden met milieuproblemen. Vaak wordt een bijkomende doelfunctie opgenomen die de CO₂-uitstoot minimaliseert (Lin et al., 2014).

Heterogene vloot

Wanneer deze beperking wordt opgenomen, zijn niet alle voertuigen identiek. Zo kunnen de kosten, de capaciteit, de snelheid, de beschikbaarheid en de technische uitrusting van de voertuigen verschillen (Drexler, 2012). In sectie 2.1.2.2 wordt het *Heterogenous Fleet Vehicle Routing Problem* meer in detail besproken.

Incompatibiliteiten

Incompatibiliteiten kunnen optreden tussen klanten, depots, voertuigen, producten en chauffeurs. Een klant moet soms bediend worden vanuit een bepaalde depot, door een bepaald voertuig en/of door een bepaalde chauffeur. Zo zijn niet alle chauffeurs gekwalificeerd om bepaalde klanten te bezoeken. Soms hebben chauffeurs kennis of training nodig over specifieke materialen of kennis of de regio. Dit kan de compatibiliteit met bepaalde klanten hinderen. Een specifiek geval hiervan is het

rittenplanningsprobleem met *site-dependent* beperkingen, waarbij bepaalde klanten enkel door bepaalde voertuigen bediend kunnen worden (Rincon-Garcia et al., 2018). Sommige voertuigen kunnen bepaalde wegen niet passeren omdat ze te hoog of te breed zijn (Caceres-Cruz et al., 2015).

Beperkingen i.v.m. voorraadniveau

Bij het opstellen van de routeplanning kunnen beperkingen worden opgenomen die rekening houden met de voorraad van de klanten (Caceres-Cruz et al., 2015). Klanten kunnen aangeven dat wanneer de voorraad onder een bepaald niveau gaat, deze automatisch aangevuld moet worden.

Ladingsbeperkingen

Hieronder vallen alle beperkingen die te maken hebben met het laden van het voertuig. Enkele voorbeelden van ladingsbeperkingen zijn fragiliteitsbeperkingen, LIFO laden en orthogonaliteit. In sectie 2.1.2.11 worden deze ladingsbeperkingen besproken.

Beperkingen m.b.t. duur van de route

De tijd van een route kan beperkt worden door een beperking op te nemen in het probleem met de maximale tijdsduur van een rit. Dit kan overeenkomen met de totale werkuren van de chauffeur.

Meerdere depots

In het klassieke *CVRP* wordt slechts één depot opgenomen. In de realiteit hebben bedrijven vaak meerdere depots, daarom is het belangrijk om in de literatuur modellen op te stellen die meerdere depots opnemen. Het *Multi-depot Vehicle Routing Problem* wordt besproken in sectie 2.1.2.3. Wanneer er meerdere depots zijn, moeten er extra beperkingen in het rittenplanningsprobleem opgenomen worden die elk voertuig aan één depot toekennen. (Wang et al., 2016)

Meerdere doelfuncties

Een rittenplanningsprobleem kan meerdere doelfuncties bevatten. In sommige *VRP's* met meerdere optimalisatiefuncties, worden al de optimalisatiefuncties samen in één functie gezet door gebruik te maken van wiskundige bewerkingen. Een nadeel hiervan is dat de gewichten van de verschillende optimalisatiefuncties bepaald moeten worden. Deze gewichten zijn niet altijd niet makkelijk te bepalen (Baños, Ortega, Gil, Márquez, & De Toro, 2013). De totale kosten, het aantal voertuigen, de totale afstand, de totale tijd van de route, de bedieningstijd, het aantal klanten dat niet bediend wordt, de wachttijd voor klanten, de openingskost van de depots, de CO₂-uitstoot kunnen geminimaliseerd worden. De optimalisatiefunctie kan ook een maximalisatie zijn van de winst. Als er optionele orders zijn dan is de optimalisatiefunctie vaak de maximalisatie van het verschil tussen de winst die gegeneerd wordt door het opnemen van de extra orders min de kosten van deze orders op te nemen in de route (Cherif-Khettaf et al., 2015).

Meerdere periodes

De routes worden gepland over meerdere periodes indien alle inputdata op voorhand gekend is. Er kunnen beperkingen in het rittenplanningsprobleem opgenomen worden die aangeven dat er periodieke orders zijn. Periodieke orders zijn orders die meerdere keren uitgevoerd moeten worden in een planningsperiode, bijvoorbeeld twee keer per week. (Drexler, 2012)

Meerdere ritten

Wanneer deze beperking geldt, kunnen bepaalde of alle voertuigen meerdere routes uitvoeren binnen een planningsperiode. In sectie 2.1.2.4 wordt het *Multi-Trip Vehicle Routing Problem* meer in detail besproken.

Deelleveringen

Deze beperking zorgt ervoor dat een klant bediend kan worden door meerdere voertuigen, het order wordt dus gesplitst. Elk voertuig levert dan een deel van de totale order van één klant (Caceres-Cruz et al., 2015).

Uitbestedingsbeslissingen

Routes kunnen uitbesteed worden aan een (ander) transportbedrijf. Wanneer routes uitbesteed kunnen worden dan moeten extra beperkingen aan de routeplanning toegevoegd worden die beslissen of een rit uitbesteed moet worden of niet. (Moon, Lee, & Seong, 2012)

Open routes

Als chauffeurs op het einde van de rit niet moeten terugkeren naar het depot, dan is dit een open route. Wanneer de chauffeurs de laatste klant bediend hebben, kunnen ze terugkeren naar hun thuis in plaats van naar het depot. Meer informatie over het *Open Vehicle Routing Problem* is terug te vinden in sectie 2.1.2.12. In het rittenplanningsprobleem moeten beperkingen toegevoegd worden die aangeven dat de voertuigen niet moeten eindigen op de plaats waar ze vertrokken zijn. (Vincent, Jewpanya, & Redi, 2016)

Optionele orders

Optionele orders zijn orders die niet opgenomen moeten worden in de route maar wanneer ze worden opgenomen dan brengen ze een extra opbrengst op. (Lahyani et al., 2015)

Vorrangbeperkingen

Deze beperkingen hebben te maken met de volgorde van de bezoeken. Bepaalde afhaalallocaties moeten bezocht worden voor bepaalde leverlocaties. (Lahyani et al., 2015)

Afhalen en afleveren

In het klassieke probleem worden de goederen geladen in het depot en afgeleverd bij een klant. Maar goederen kunnen ook opgehaald worden bij een bepaalde klant en geleverd worden bij een andere klant binnen één route. Wanneer dit het geval is moeten afhaal- en afleverbeperkingen opgenomen worden in het rittenplanningsprobleem. In sectie 2.1.2.5 worden de verschillende soorten *VRP's* met afhaal- en afleverbeperkingen besproken. Soms moeten eerst alle afleverorders uitgevoerd worden voor de afhaalorders, maar soms mogen afhaalorders ook al gebeuren voordat alle afleverorders zijn uitgevoerd. (Cuervo et al., 2014)

Simultaan afhalen en afleveren

Deze beperking is van toepassing wanneer het ophalen en afhalen van producten of personen tegelijkertijd op eenzelfde locatie gebeurt (Caceres-Cruz et al., 2015). Deze variant van het *VRPPD* wordt ook besproken in sectie 2.1.2.5.

Prioriteitsbepaling van klanten

Bepaalde klanten krijgen voorrang wanneer er een *stockout* is of wanneer bepaalde voertuigen in panne vallen. De bediening van sommige klanten kan uitgesteld worden naar een volgende dag. (Lahyani et al., 2015)

Stochastische/dynamische vraag

In het klassieke rittenplanningsprobleem is de vraag op voorhand gekend en kan deze niet meer wijzigen. Bij sommige rittenplanningsproblemen is de vraag stochastisch of dynamisch. Het stochastische *VRP* wordt besproken in sectie 2.1.2.15. Wanneer de vraag stochastisch is moeten beperkingen opgenomen worden die er mee rekening houden dat de vraag onzeker is (Flatberg et al., 2007; Ritzinger et al., 2016). De vraag kan ook dynamisch zijn, in deze problemen kan de vraag van de klant nog veranderen tijdens het uitvoeren van de rit (Pillac et al., 2013). Meer informatie over het dynamische *VRP* kan terug gevonden worden in sectie 2.1.2.7.

Tijdsafhankelijke reistijden

In sommige rittenplanningsproblemen zijn de reistijden tijdsafhankelijk, dit wil zeggen dat de reistijden kunnen verschillen doorheen de dag. Het *Time-dependent Vehicle Routing Problem* wordt in sectie 2.1.2.16 besproken.

Tijdsvensters

Beperkingen met tijdsvensters kunnen toegevoegd worden aan het rittenplanningsprobleem. De verschillende soorten tijdsvensters worden besproken in sectie 2.1.2.1. Tijdsvensters kunnen opgelegd worden aan klanten, depots, chauffeurs en wegen. Bovendien kunnen tijdsvensters zacht of hard zijn. (de Armas & Melián-Batista, 2015)

Andere beperkingen

Buiten deze beperkingen die in Tabel 1 worden opgenomen, bestaan er nog andere veel andere beperkingen in de literatuur. In Tabel 1 werden enkel de beperkingen opgenomen die vaak worden opgenomen in *Rich VRP's* in de wetenschappelijke literatuur. Voorbeelden van andere beperkingen bij rittenplanningsproblemen zijn beperkingen die er rekening mee houden dat sommige voertuigen meerdere soorten producten kunnen vervoeren (Leyerer et al., 2019) of *Intra-route replenishments* waarbij voertuigen opnieuw geladen worden tijdens de route (Caceres-Cruz et al., 2015). Ook worden soms beperkingen opgenomen in de routeplanning die rekening houden met de capaciteit van de klanten of depots (Caceres-Cruz et al., 2015; Leyerer et al., 2019). In de literatuur worden ook *Inter-route resource constraints* aangehaald waarbij een maximum opgelegd wordt op het aantal voertuigen dat mag aankomen op het depot binnen het bepaald tijdsinterval. Deze beperking wordt opgelegd als een bedrijf over een bepaald aantal laaddokken bezit (Drexler, 2012). Ook bestaan in de literatuur beperkingen waarbij pakjes tussen een bepaald tijdsvenster op het werk geleverd moeten worden en tussen een ander tijdsvenster en tijdens het weekend bij het huis van de ontvanger. De

afleverlocatie is dus afhankelijk van het tijdstip van de levering (Drexl, 2012). Al Hla, Othman, & Saleh (2019) geven aan dat in de academische literatuur zelden rekening gehouden wordt met de menselijke factoren van zowel chauffeurs als planners. Chauffeurs verschillen in onder andere leeftijd, vaardigheden, training en rijstijl. Chauffeurs zijn meer tevreden wanneer ze behandeld worden als individuen die beslissingen moeten maken en niet als robots die een vast plan moeten uitvoeren. Ook de vermoeidheid van chauffeur kan een effect hebben. Sommige chauffeurs nemen ook meer risico's dan anderen bij het rijden. Al Hla, Othman, & Saleh (2019) stellen een rittenplanningsprobleem op waarbij ze rekening houden met het niveau van autonomie van zowel de planners als chauffeurs. (Al Hla, Othman, & Saleh, 2019)

2.2.3 Literatuuroverzicht Rich Vehicle Routing Problems

In Tabel 2 wordt een literatuuroverzicht van *Rich VRP's* gemaakt en van welke beperkingen in deze rittenplanningsproblemen werden opgenomen.

Artikels voor in deze tabel werden opgezocht in verschillende databanken, inclusief Google Scholar, U Hasselt Library, Springer Link. Eerst werd gezocht op de zoektermen "Rich Vehicle Routing Problem" en "Real World Vehicle Routing Problem" daarna op de zoekterm "Multi Attribute Vehicle Routing Problem". Enkel artikels van het jaar 2015 tot op heden werden opgenomen. Elk van de papers werd doorgenomen om na te gaan of deze geschikt waren. Enkel papers met minimum vier extra beperkingen bovenop de beperkingen van het klassieke *VRP* werden opgenomen. In totaal werden 25 artikels geselecteerd.

Uit Tabel 2 blijkt dat in bijna alle bestudeerde rittenplanningsproblemen heterogene voertuigen worden opgenomen (bij 21 van 25 studies). Slechts in vier van de bestudeerde studies worden rittenplanningsproblemen opgesteld die er vanuit gaan dat alle voertuigen identiek zijn. In de andere studies hebben de voertuigen een verschillende capaciteit. Bij sommige rittenplanningsproblemen verschillen voertuigen van elkaar inzake operationele kosten of doordat bepaalde voertuigen voorzien zijn van speciale laadmogelijkheden zoals een kraan, laadklep en zijdeuren (De Giovanni, Gastaldon, Lauriola, & Sottovia, 2017; De Giovanni, Gastaldon, & Sottovia, 2019). Bij Mancini (2016) en Sicilia, Quemada, Royo, & Escuín (2016) bestaat de heterogene vloot uit gekoelde en niet-gekoelde wagens.

Tijdsvensters worden eveneens in de meeste rittenplanningsproblemen opgenomen (bij 21 van de 25 studies). Meestal wordt één hard tijdsvenster voor het bezoeken van de klanten opgelegd. Molina, Eguia, & Racero (2018) en Yang, Ning, Shang, & Tong (2020) leggen bovenop het hard tijdsvenster bij klanten, ook nog een hard tijdsvenster aan het depot op (Molina et al., 2018; Yang, Ning, Shang, & Tong, 2020). Gupta, Heng, Ong, Tan, & Zhang (2017), Karoonsoontawong, Punyim, Nueangnitnaraporn, & Ratanavaraha (2020) en Xu, Elomri, Pokharel, & Mutlu (2019) maken in hun rittenplanningsprobleem gebruik van een zacht tijdsvenster op klanten (Gupta et al., 2017; Karoonsoontawong, Punyim, Nueangnitnaraporn, & Ratanavaraha, 2020; Xu, Elomri, Pokharel, & Mutlu, 2019). De Armas & Melián-Batista (2015) maken gebruik van meerdere zachte tijdsvensters op klanten (de Armas & Melián-Batista, 2015). In De Giovanni, Gastaldon, Lauriola, & Sottovia (2017) en De Giovanni, Gastaldon, & Sottovia (2019) worden zowel zachte en harde tijdsvensters gebruikt voor het bezoeken van klanten (De Giovanni et al., 2017; De Giovanni et al., 2019). Gemiddeld genomen wordt er dus in de bestudeerde papers veel meer gebruik gemaakt van harde tijdsvensters

in vergelijking met zachte tijdsvensters. In de bestudeerde studies kwamen tijdsvensters op depots slechts twee keer voor, terwijl tijdsvensters op wegen helemaal niet voorkwamen.

Beperkingen m.b.t. de duur van de routes worden bij 56% van de onderzochte studies opgenomen. De maximum tijd van een rit werd vaak gelijk gesteld aan de lengte van een werkdag. In een aantal artikels wordt de lengtebeperking vervangen door tijdsvensters op te leggen aan het depot. Deze lengtebeperkingen komen ook overeen met beperkingen die te maken hebben met rij- en rusttijden. Zo kan een lengtebeperking opgelegd worden die rekening houdt met het aantal uren dat een chauffeur aan één stuk mag werken.

Beperkingen in verband met het afhalen en afleveren van goederen worden bij 52% van de bestudeerde studies opgenomen. In de problemen waar deze niet worden opgenomen, kunnen goederen enkel worden afgeleverd aan de klanten.

Bij 44% van de bestudeerde studies worden beperkingen m.b.t. incompatibiliteiten opgenomen. De Armas & Melián-Batista (2015), De Giovanni, Gastaldon, & Sottovia (2019), Khodabandeh, Snyder, Dennis, Hammond, & Wanless (2019), Mancini (2016), Sicilia, Quemada, Royo, & Escuín (2016) en Souza Neto & Pureza (2016) nemen beperkingen op die ervoor zorgen dat bepaalde klanten niet bediend kunnen worden door bepaalde voertuigen. In de rittenplanningsproblemen van Khodabandeh, Snyder, Dennis, Hammond, & Wanless (2019) en Mancini (2016) moeten bepaalde producten in voertuigen getransporteerd worden waarin goederen gekoeld kunnen worden. Mancini (2016) neemt ook de beperking op dat niet alle klanten vanuit alle depots bediend kunnen worden omdat de bestelde producten mogelijk niet beschikbaar zijn in alle depots. Ook neemt Mancini (2016) beperkingen op die te maken hebben met de locatie van de klant. Zo kunnen klanten die zich in het stadscentrum begeven niet bezocht worden door grote voertuigen, omdat deze bepaalde zones niet binnen mogen. Mancini (2016) en Khodabandeh, Snyder, Dennis, Hammond, & Wanless (2019) nemen ook de beperking op dat bepaalde orders van verschillende regio's niet gecombineerd mogen worden met elkaar. In het rittenplanningsprobleem van Molina, Eguia, & Racero (2018) zijn er voor bepaalde orders uit te voeren gekwalificeerde chauffeurs nodig. Alle chauffeurs kunnen niet alle orders uitvoeren. De Giovanni, Gastaldon, Lauriola, & Sottovia (2017) maken in hun *VRP* gebruik van een beperking die ervoor zorgt dat vaste orders altijd uitgevoerd worden door eenzelfde voertuig. In de *VRP's* van Mahéo, Urli, & Kilby (2016) en Nogareda, Del Ser, Osaba, & Camacho (2020) kunnen sommige producten niet samen met andere producten in eenzelfde voertuig vervoerd worden (Mahéo, Urli, & Kilby, 2016; Nogareda, Del Ser, Osaba, & Camacho, 2020).

Auteur	BR	CA	CV	DR	EV	HV	IC	IN	LC	LR	MD	MO	MP	MT	MV	OD	OR	OV	PC	PD	PoC	PS	SD	TD	TW	
(Alcaraz, Caballero-Arnaldos, & Vales-Alonso, 2019)				x	x	x	x			x					x	x										x
(Cattaruzza, Absi, & Feillet, 2016)				x					x					x					x	x						x
(Coelho, Gagliardi, Renaud, & Ruiz, 2016)				x		x			x				x													x
(Dayarian, Crainic, Gendreau, & Rei, 2015)					x	x		x		x										x						x
(de Armas & Melián-Batista, 2015)	x				x	x					x										x					x
(De Giovanni, Gastaldon, & Sottovia, 2019)				x	x	x		x	x	x	x			x	x	x	x	x	x	x	x		x		x	x
(De Giovanni, Gastaldon, Lauriola, & Sottovia, 2017)				x	x	x		x	x	x	x			x	x	x	x	x	x	x	x					x
(Erdoğan, McLeod, Cherrett, & Bektaş, 2015)				x	x	x				x			x													x
(Gupta, Heng, Ong, Tan, & Zhang, 2017)						x					x									x		x				x
(Karoonsoontawong, Punyim, Nueangnitnaraporn, & Ratanavaraha, 2020)										x	x			x												x
(Khodabandeh, Snyder, Dennis, Hammond, & Wanless, 2019)				x		x			x		x									x						x
(Koc, Erbaş, & Ozceylan, 2018)										x				x						x						
(Mahéo, Urli, & Kilby, 2016)						x				x										x						
(Mancini, 2016)										x																
(Marques, Soares, Santos, & Amorim, 2020)						x				x										x						x
(Molina, Eguía, & Racero, 2018)										x										x						
(Nogareda, Del Ser, Osaba, & Camacho, 2020)				x		x					x															x
(Osaba et al., 2017)											x															
(Rabbouch, Saádaoui, & Mralhi, 2019)						x				x										x						x
(Sicilia, Quemada, Royo, & Escuin, 2016)										x																x
(Souza Neto & Pureza, 2016)										x										x						x
(Urli & Kilby, 2017)				x	x	x				x				x	x	x										x
(Wu, Tian, & Jin, 2016)						x				x																x
(Xu, Elomri, Pokharel, & Mutlu, 2019)																										x
(Yang, Ning, Shang, & Tong, 2020)																										x

Tabel 2: Overzicht literatuur Rich VRP

Bij 32% van de bestudeerde studies worden beperkingen opgenomen die rekening houden met de rij- en rusttijden van de chauffeurs. De meeste studies nemen niet de volledige regelgeving rond rij- en rusttijden van chauffeurs op, maar nemen slechts een aantal aspecten hiervan op. De Giovanni, Gastaldon, Lauriola, & Sottovia (2017) en De Giovanni, Gastaldon, & Sottovia (2019) leggen beperkingen op die zorgen dat de planning een korte pauze inplant van 45 minuten na 4 uur en 30 minuten rijden en een lange pauze van 9 uur nadat een chauffeur 9 uur gereden heeft of 13 uur gewerkt heeft. Khodabandeh, Snyder, Dennis, Hammond, & Wanless (2019) leggen de beperking op dat chauffeurs niet langer dan 11 uur mogen rijden of 13 uur mogen werken en dat chauffeur ten minste 10 uur vrij moet hebben na een volle werkdag. Coelho, Gagliardi, Renaud, & Ruiz (2016) nemen de pauzes van de chauffeurs mee op in hun rittenplanningsprobleem (Coelho, Gagliardi, Renaud, & Ruiz, 2016). Alcaraz, Caballero-Arnaldos, & Vales-Alonso (2019), Erdoğan, McLeod, Cherrett, & Bektaş (2015), Molina, Eguia, & Racero (2018) en Urli & Kilby (2017) nemen ook een maximum aantal uren op dat een chauffeur mag rijden.

Bij de bestudeerde studies hebben 32% van de rittenplanningsproblemen meerdere optimalisatiefuncties. Zo worden in de rittenplanningsproblemen van Khodabandeh, Snyder, Dennis, Hammond, & Wanless (2019) en Wu, Tian, & Jin (2016) de totale kosten en het aantal nodige voertuigen geminimaliseerd (Khodabandeh, Snyder, Dennis, Hammond, & Wanless, 2019; Wu, Tian, & Jin, 2016). Molina, Eguia, & Racero (2018) maken gebruik van twee optimalisatiefuncties in een hiërarchische vorm. De primaire optimalisatiefunctie is het maximaliseren van het aantal uitgevoerde orders met een hoge prioriteit. Daarna wordt de totaal afgelegde afstand geminimaliseerd. In het *VRP* van Xu, Elomri, Pokharel, & Mutlu (2019) is het minimaliseren van het totaal verwachte brandstofverbruik de primaire optimalisatiefunctie. De secundaire optimalisatiefunctie is het maximaliseren van klantentevredenheid. Souza Neto & Pureza (2016) nemen drie optimalisatiefuncties op. Eerst moet het aantal bediende orders gemaximaliseerd worden, vervolgens moet de totale kost geminimaliseerd worden en hierna moet het aantal chauffeurs geminimaliseerd worden (Souza Neto & Pureza, 2016). In het *VRP* van Karoonsoontawong, Punyim, Nueangnitnaraporn, & Ratanavaraha (2020) worden drie optimalisatiefuncties opgenomen. De primaire optimalisatiefunctie minimaliseert de totale kosten van het gebruik van een voertuig. De secundaire optimalisatiefunctie minimaliseert de totale kosten die ontstaan door het overschrijden van de zachte tijdsvensters. De derde optimalisatiefunctie minimaliseert de gewogen som van de afstandskosten, de reistijdskosten, de boete kosten voor het overtreden van de tijdsvensters en de kosten van *overtime*.

Bij 28% van de bestudeerde studies kunnen er meerdere routes uitgevoerd worden door eenzelfde chauffeur binnen één planningsperiode en bij 24% van de studies kunnen routes gepland worden voor meerdere planningsperiodes.

Bij ongeveer één vierde van de bestudeerde studies (24%) worden meerdere depots opgenomen in het probleem. Het rittenplanningsprobleem van Mancini (2016) verschilt van het klassieke *MDVRP* waarbij routes moeten eindigen bij dezelfde depot waarbij ze begonnen zijn. Mancini (2016) stelt een rittenplanningsprobleem op waarbij routes mogen eindigen bij een ander depot dan waarbij ze gestart zijn.

Voorrangsbependingen worden ook bij 24% van bestudeerde studies opgenomen. Bij het rittenplanningsprobleem van De Giovanni, Gastaldon, & Sottovia (2019) en Cattaruzza, Absi, & Feillet (2016) moeten alle ophaaltaken gebeuren voor de afhaaltaken gebeuren.

Bij 24% van de opgenomen studies in de Tabel 2 wordt gebruik gemaakt van tijdsafhankelijke reistijden. Osaba et al. (2017) doen dit door piekuren en daluren op te nemen in hun rittenplanningsprobleem. Ze definiëren 8u-10u als piekuren. Tijdens dit tijdsvenster worden hogere kosten toegewezen aan een route. Xu, Elomri, Pokharel, & Mutlu (2019) houden rekening met de lading van het voertuig en piek- en daluren om zo de snelheid te laten variëren.

Bij 20% van de bestudeerde studies is het mogelijk om één order te splitsen zodat dit geleverd wordt door meerdere voertuigen. In de meeste problemen wordt een order gesplitst wanneer het een groot order is en het order de capaciteit van het voertuig overschrijdt. In het rittenplanningsprobleem van Alcaraz, Caballero-Arnaldos, & Vales-Alonso (2019) kan één order meerdere producten bevatten maar deze producten zijn niet altijd compatibel. Zo mogen groenten die ethyleen afgeven niet in één voertuig geladen worden met groenten waarvan het rijpingsproces door deze stof wordt versneld. Daarom moeten bepaalde orders gesplitst worden.

Open routes worden bij 20% van de studies opgenomen terwijl asymmetrische kosten en prioriteitsstelling van bepaalde klanten bij 16% van de bestudeerde studies wordt opgenomen. Bij het rittenplanningsprobleem van De Armas & Melián-Batista (2015) kunnen sommige klantenorders uitgesteld worden naar de volgende dag. De Giovanni, Gastaldon, & Sottovia (2019) geven voorrang aan dringende orders. Bij het rittenplanningsprobleem van Molina, Eguia, & Racero (2018) worden er prioriteiten toegekend aan orders. Afhankelijk van deze prioriteiten kunnen sommige orders uitgesteld worden naar de volgende planningsperiode.

Gebalanceerde routes kwamen slechts bij twee van de 25 bestudeerde rittenplanningsproblemen voor. De Armas & Melián-Batista (2015) hielden de werklast voor chauffeurs in evenwicht door een maximaal aantal orders per route op te leggen. Daarnaast werd ook de afstand van de routes gebalanceerd. Sicilia, Quemada, Royo, & Escuín (2016) houden de werklast in evenwicht door een maximum aantal orders per rit op te leggen.

Ladingsbependingen werden ook zeer weinig opgenomen in de bestudeerde rittenplanningsproblemen (bij 2 van de 25 studies). Enkel De Giovanni, Gastaldon, & Sottovia (2019) en De Giovanni, Gastaldon, Lauriola, & Sottovia (2017) hielden rekening met ladingsbependingen.

Gelijktijdig afhalen en afleveren is slechts mogelijk bij twee van de bestudeerde studies. Gupta, Heng, Ong, Tan, & Zhang (2017) beschrijven een *VRP* waarbij een bepaalde hoeveelheid goederen kan afgehaald worden bij een klant en tegelijkertijd kunnen er goederen geleverd worden bij diezelfde klant. De auteurs van dit probleem geven aan dat door het toevoegen van deze beperking het probleem uitdagender wordt omdat de capaciteitsbependingen niet overtreden mogen worden en omdat ze ook rekening moeten houden met de hoeveelheid goederen die opgehaald worden. Osaba et al. (2017) beschrijven een probleem waarin kranten bij bepaalde klanten moeten worden opgehaald en geleverd worden. (Osaba et al., 2017)

Enkel Urli & Kilby (2017) nemen voertuigen met verschillende compartimenten op in hun rittenplanningsprobleem (Urli & Kilby, 2017).

Xu, Elomri, Pokharel, & Mutlu (2019) houden als enige van de 25 bestudeerde artikels rekening met milieugebonden beperkingen. Ze bereken het brandstofverbruik op basis van tijdsafhankelijke reistijden. (Xu et al., 2019)

Enkel in het rittenplanningsprobleem van Dayarian, Crainic, Gendreau, & Rei (2015) worden voorraadbeperkingen opgenomen. Elke klant heeft een venster met een minimum en maximum hoeveelheid van de vraag die geleverd moeten worden. (Dayarian, Crainic, Gendreau, & Rei, 2015)

Alcaraz, Caballero-Arnaldos, & Vales-Alonso (2019) houden in hun *Rich VRP* rekening met uitbestedingsbeperkingen. In hun rittenplanningsprobleem kan het *last-mile* transport uitbesteed worden. Sommige goederen worden niet aan de klant geleverd maar aan een uitbestedingsdepot. Vanuit dit depot gaat de onderaannemer de goederen vervoeren naar de klant. (Alcaraz, Caballero-Arnaldos, & Vales-Alonso, 2019)

Enkel in het rittenplanningsprobleem van De Giovanni, Gastaldon, & Sottovia (2019) zijn er orders die niet moeten worden uitgevoerd maar waarvan de uitvoering ervan een bonus oplevert. Zij houden ook als enige rekening met een dynamische vraag. Terwijl de routes bezig zijn, kunnen er orders bijkomen en kan de route wijzigen. (De Giovanni et al., 2019)

2.2.4 Vergelijking met andere literatuurstudies van het Vehicle Routing Problem

De resultaten uit sectie 2.2.3 worden vergeleken met overzichtspapers van Eksioglu et al. (2009), Caceres-Cruz et al. (2015) en Leyerer et al. (2019). Deze auteurs hebben ook een overzicht opgesteld van welke beperkingen er in rittenplanningsproblemen uit de wetenschappelijke literatuur worden opgenomen.

Eksioglu et al. (2009) hebben 30 artikels over het *VRP* daterend uit 1988 tot 2005 bestudeerd. De auteurs testen hun taxonomie van de *VRP* literatuur in dit artikel. Ze keken of bepaalde attributen die zij hebben voorgesteld in hun taxonomie voorkomen in verschillende studies waarin het *VRP* wordt toegepast. Ze kozen ervoor om papers op te nemen die meerdere attributen bevatten. Heel wat resultaten uit deze studie komen overeen met de resultaten uit sectie 2.2.3. Uit deze studie blijkt dat beperkingen die te maken hebben met het simultaan afhalen en afleveren van goederen bij slechts één van de 30 onderzochte artikels werd opgenomen. Zij concludeerden eveneens dat stochastische reistijden en stochastische vraag van de klanten slechts zelden werden opgenomen. Bij 20% van de onderzochte studies werden in het rittenplanningsprobleem beperkingen opgenomen met betrekking tot deelleveringen en meerdere periodes opgenomen. Terwijl bij ongeveer 23% van de bestudeerde studies meerdere depots werden opgenomen en bij ongeveer 27% voorrangbeperkingen werden opgenomen in het rittenplanningsprobleem. Ook deze resultaten komen overeen met sectie 2.2.3. Eksioglu et al. (2009) concluderen ook dat tijdsvensters vaak werden opgenomen in rittenplanningsproblemen (bij 70%) van de onderzochte studies. Bij iets meer dan de helft van de problemen zijn deze tijdsvensters van toepassing op de tijd waarin de klanten bezocht moeten worden. In sommige problemen zijn tijdsvensters van toepassing op depots en chauffeurs. Slechts bij enkele problemen zijn deze tijdsvensters opgelegd aan bepaalde wegen. Maar enkele resultaten uit hun onderzoek wijken af van de resultaten uit Tabel 2 van sectie 2.2.3. In de studie van Eksioglu et al. (2009) kunnen slechts bij 20% van de bestudeerde papers goederen zowel afgehaald als afgeleverd worden. In sectie 2.2.3 werd besloten dat bij 52% van de bestudeerde

studies goederen zowel opgehaald als afgeleverd kunnen worden. In de studie van Eksioglu et al. (2009) wordt in de helft van de bestudeerde papers gebruik gemaakt van homogene voertuigen. Dit is in contrast met de resultaten uit Tabel 2 waarbij slechts 16% van de bestudeerde papers gebruik maakt van homogene voertuigen. Een verklaring hiervoor kan zijn dat in de studie van Eksioglu et al. (2009) oudere artikels worden gebruikt van het jaar 1988 tot 2005. Rittenplanningsproblemen zijn sterk geëvolueerd in deze tijd. In tegenstelling tot wat gevonden werd in de studie van Eksioglu et al. (2009), zijn nu de voertuigen slechts zelden homogeen. In de studie van Eksioglu et al. (2009) werden ook alle soorten *VRP's* terwijl in Tabel 2 uit sectie 2.2.3 enkel *Rich VRP's* werden opgenomen.

Caceres-Cruz et al. (2015) hebben 52 verschillende studies met *Rich VRP's* onderzocht en een tabel gemaakt van welke beperkingen bij elke paper voorkwamen. Ze bestudeerden studies daterend uit 1997-2013. De resultaten van Caceres-Cruz et al. (2015) komen grotendeels overeen met de resultaten van Tabel 2. Overeenstemmend met de resultaten uit Tabel 2, concluderen Caceres-Cruz et al. (2015) dat tijdsvensters vaak worden opgenomen in *Rich VRP's* (bij ongeveer 70% van de onderzochte studies). Beperkingen met betrekking tot meerdere periodes, incompatibiliteiten en goederen afhalen en afleveren worden bij respectievelijk ongeveer 30%, 33% en 37% van de door Caceres-Cruz et al. (2015) bestudeerde studies opgenomen. Open routes worden bij zowel in Tabel 2 als in het literatuuroverzicht van Caceres-Cruz et al. (2015) bij 20% van de bestudeerde papers opgenomen in de rittenplanning. Net zoals in Tabel 2 besloten wordt, concluderen Caceres-Cruz et al. (2015) ook dat gebalanceerde routes, een asymmetrische kostenmatrix, deelleveringen, meerdere ritten, simultaan afhalen en afleveren en een stochastische of dynamische vraag weinig opgenomen worden in rittenplanningsproblemen. Bij de studies die Caceres-Cruz et al. (2015) onderzochten werden bepaalde beperkingen in vergelijking met de resultaten van Tabel 2 minder vaak opgenomen. Caceres-Cruz et al. (2015) concludeerden dat voorrangbeperkingen en tijdsafhankelijke reistijden bij slechts 6% van de bestudeerde studies werden opgenomen, terwijl deze beperkingen in Tabel 2 beiden bij 24% van de papers werden opgenomen. Beperkingen met betrekking tot rij- en rusttijden van de chauffeurs en meerdere doelfuncties werden bij slechts 13% van de studies opgenomen die in Caceres-Cruz et al. (2015) bestudeerd werden, terwijl deze bij 32% van de problemen in Tabel 2 werden opgenomen. Ook beperkingen m.b.t. de duur van de route werden bij slechts 35% van de bestudeerde studies opgenomen, terwijl deze beperkingen bij 56% van de papers in Tabel 2 werden opgenomen. Opmerkelijk is ook dat Caceres-Cruz et al. (2015) concluderen dat bij slechts 56% van de bestudeerde rittenplanningsproblemen de vloot heterogeen is. Maar in de studie van Caceres-Cruz et al. (2015) beschikten wel meer rittenplanningsproblemen over meerdere depots in vergelijking met de studies in Tabel 2.

Leyerer et al. (2019) bestudeerden ook enkele *Rich VRP's* en hun bijhorende attributen. Zij selecteerden 25 artikels daterend van 2009 tot 2017 en keken welke attributen werden opgenomen in deze rittenplanningsproblemen. Uit hun literatuurreview kan besloten worden dat bij veel van de rittenplanningsproblemen (68%) tijdsvensters worden opgenomen. De meerderheid van deze tijdsvensters zijn van toepassing op de klanten of chauffeurs. Tijdsvensters op depots en wegen komen minder vaak voor. Dit komt overeen met de resultaten uit sectie 2.2.3. In de overzichtstabel van Leyerer et al. (2019) hebben 20% van de bestudeerde studies meerdere periodes, 24% meerdere depots, 28% van de rittenplanningsproblemen houden rekening met incompatibiliteiten, 32% met meerdere ritten en 44% met meerdere doelfuncties. Ook deze resultaten liggen in lijn met

de resultaten uit sectie 2.2.3. Net zoals uit Tabel 2 geconcludeerd kan worden, besloten Leyerer et al. (2019) dat ladingsbeperkingen, gebalanceerde routes, voorraadbeperkingen, deelleveringen, optionele orders, open routes en voorrangbeperkingen minder vaak worden opgenomen in rittenplanningsproblemen. Enkele resultaten uit de studie van Leyerer et al. (2019) wijken wel af van de resultaten uit sectie 2.2.3. Ongeveer de helft van de onderzochte studies door Leyerer et al. (2019) hebben een heterogene vloot terwijl dit in Tabel 2 uit sectie 2.2.3 de meest bestudeerde rittenplanningsproblemen over een heterogene vloot beschikken. Ook afhaal- en afleverbeperkingen, beperkingen met betrekking tot de duur van de route en rij- en rusttijden worden in vergelijking met Tabel 2 minder vaak opgenomen in de studies bestudeerd door Leyerer et al. (2019).

2.2.5 Conclusie Rich Vehicle Routing Problem

De traditionele varianten van het *VRP* komen in de praktijk nauwelijks voor in pure vorm. Daarom is de afgelopen jaren de focus in de wetenschappelijke literatuur verschoven naar *Rich VRP's*, rittenplanningsproblemen die de werkelijkheid weerspiegelen. Om rittenplanningsproblemen toe te kunnen passen in de praktijk moeten extra beperkingen aan het rittenplanningsprobleem toegevoegd. Beperkingen zoals tijdsvensters en heterogene voertuigen werden de afgelopen jaren vaak opgenomen in *Rich VRP's*. Tijdsvensters worden meestal enkel opgenomen voor klanten. Beperkingen m.b.t. de duur van de route, afhaal- en afleverbeperkingen en incompatibiliteiten worden vaker opgenomen in recente *Rich VRP's*. Beperkingen m.b.t. rij- en rusttijden, meerdere doelfuncties, meerdere ritten, meerdere depots, meerdere planningsperiodes, voorrangbeperkingen en tijdsafhankelijke reistijden worden soms opgenomen in de onderzochte *Rich VRP's*. Deelleveringen, open routes, asymmetrische kosten en beperkingen die prioriteit geven aan bepaalde klanten worden minder vaak opgenomen in recente *Rich VRP's*. In de studies die zichzelf labelen als *Rich VRP's* wordt echter weinig gebruik gemaakt van beperkingen i.v.m. gebalanceerde routes, landingsbeperkingen, beperkingen i.v.m. simultaan afhalen en afleveren, voertuigen met compartimenten, milieu gerelateerde beperkingen, beperkingen i.v.m. voorraadniveau, uitbestedingsbeslissingen, optionele orders en een dynamische/stochastische vraag. In de onderzochte studies wordt geen rekening gehouden met menselijke factoren van zowel de chauffeurs en planners. Hoewel veel auteurs hun rittenplanningsprobleem als *Rich VRP* beschrijven, bevatten deze bestudeerde studies nog niet de hele complexiteit van de realiteit.

3. Praktijkonderzoek

In het praktijkonderzoek worden twee transportbedrijven geïnterviewd. Eerst wordt een korte omschrijving gegeven van de geïnterviewde bedrijven. Vervolgens wordt onderzocht hoe deze bedrijven hun ritten plannen en welke beperkingen zij opnemen in de rittenplanning. In hoofdstuk 4 worden de bevindingen uit het praktijkonderzoek vergeleken met de resultaten uit de literatuurstudie.

3.1 Lux Logistics

3.1.1 Omschrijving bedrijf

Lux Logistics werd in 1954 opgericht als familiebedrijf door Jean Lux en is gevestigd in Borgloon. Doorheen de jaren is het bedrijf uitgegroeid tot een belangrijke speler in de transportwereld. Het bedrijf telt momenteel 24 bedienden en 68 arbeiders. Momenteel beschikken ze over 85 trekkende voertuigen en over meer dan 200 opleggers. Lux Logistics transporteert diverse goederen in de Benelux en Frankrijk. Binnen België vervoeren ze voornamelijk drank met leeggoed retourvrachten. Buiten België verzorgen ze zowel volle ladingen als deelladingen, met als specialisatie zware coil-zendingen en lichte volumineuze goederen. Naast transportoplossingen biedt Lux Logistics ook een logistieke totaaloplossing voor de klant. Er worden extra diensten zoals schoonmaken, verpakken, sorteren, montage van extra onderdelen en componenten en opslag aangeboden. Ze hebben ook een magazijn met meer dan 10000 m² aan opslagruimte.



Figuur 5: Vrachtwagens Lux Logistics (Lux Logistics, z.d.)

Het bedrijf is voornamelijk actief in de drank, staal, plastic, verpakking en bouwsector. De belangrijkste klanten zijn AB InBev, Aperam Stainless Steel, Coca-cola en A.N.L Logistics. Ze ontvangen ongeveer 300-350 orders per dag.

3.1.2 Planproces

De routes worden bij Lux Logistics manueel gepland. Het bedrijf maakt geen gebruik van een specifieke software om routes te plannen. Ze beschikken wel over een *TMS*, *NaviTrans* van MS Navision (versie 2009). *NaviTrans* is een *TMS*, specifiek ontwikkeld voor logistieke dienstverleners.

Lux Logistics deelt de planningsafdeling op in drie delen: nationale planning, internationale planning en retourplanning. Elke ochtend maken de planners op papier een lijst met alle bestemmingen van deel- en volladingen voor de volgende dag. Deze orders werden al eerder in hun *TMS* ingegeven door de *customer service* medewerkers. De planner bepaalt zelf welke bestemmingen best samen worden genomen. Meestal nemen planners orders die dicht bij elkaar liggen samen in één route. Er wordt ook rekening gehouden met de grootte van de orders en de maximale capaciteit van de vrachtwagens. Daarna wordt de planning in een *Excel drive* bestand gezet en worden routes toegewezen aan chauffeurs. Dit is slechts een tijdelijke planning, doorheen de dag komen er steeds nieuwe orders bij die de volgende dag uitgevoerd moeten worden. De planning moet dus constant aangepast worden. In de late namiddag wordt de planning in het *TMS* gezet. In *NaviTrans* kunnen de planners elk order naar het bijpassende voertuig slepen. Zo worden alle orders van de volgende dag toegewezen aan een rit. Het is ook belangrijk dat de planners de chauffeurs regelmatig gaan opvolgen om na te gaan of ze nog op schema zitten. Hiervoor heeft Lux een programma *Transics*. Deze software is gekoppeld aan de boordcomputers van de chauffeurs. De planners kunnen op elk moment zien waar elke chauffeur aanwezig is en met welke activiteit ze bezig zijn. Wanneer ze zien dat een planner uitzonderlijk lang moet wachten om goederen te lossen, kunnen ze eventueel de routeplanning aanpassen.

Lux Logistics maakt geen gebruik van een software programma om routes te plannen omdat in het verleden hun specifieke vereisten niet geautomatiseerd konden worden. Vandaag bestaan programma's die wel aan hun vereisten voldoen, daarom heeft Lux Logistics besloten om op korte termijn een planprogramma aan te schaffen.

3.1.3 Nieuw TMS en planprogramma

Lux Logistics wil tegen 2021 een nieuw *TMS* invoeren. Ze gaan een update van hun huidige programma, *NaviTrans* implementeren. Om te bepalen welk programma geschikt is, hebben ze aan verschillende departementen waaronder planning, orderingave en facturatie gevraagd wat zij wensen en waar ze bij het huidige systeem tegenaan lopen. Met deze informatie hebben ze een lijst opgesteld van punten waarop ze verschillende programma's konden vergelijken. Dit is de eerste stap die ze gaan ondernemen, in een latere fase gaat er waarschijnlijk een planprogramma bij komen. Ze hebben nog niet besloten welk planprogramma ze gaan aanschaffen. Ze hebben wel al aan meerdere leveranciers een offerte of demo gevraagd van hun planprogramma.

De voornaamste reden om een planprogramma in te voeren voor Lux Logistics is om de planners te ondersteunen bij het opmaken van de planning. Zo kunnen menselijke fouten vermeden worden, de bezettingsgraad van voertuigen kan verbeteren en reistijden kunnen verminderd worden. Een belangrijk aspect voor hen is dat het planprogramma verbonden is met *Transics*. Zodat ze op deze manier alle bewegingen en posities van de wagens kunnen opvolgen. Omdat vaak nog verschillende

aanpassingen in de routeplanning worden gemaakt terwijl dat de ritten worden uitgevoerd, is het belangrijk dat de planners de routes altijd kunnen aanpassen in het planprogramma.

Het implementeren van een planprogramma gaat een invloed hebben op de taken van de planners. Momenteel kruipt er veel tijd in het manueel plannen van de routes. Het implementeren van een planprogramma gaat ervoor zorgen dat de rittenplanning vlotter verloopt. Hierdoor gaan de planners meer tijd hebben om de chauffeurs op te volgen.

3.1.4 Beperkingen

De planners moeten rekening houden met heel wat beperkingen. Volgens Lux Logistics wordt aan volgende aspecten het meeste aandacht gegeven in hun planning: de capaciteit van de wagen, de rij- en rusttijden van de chauffeurs en de openingsuren van de laad- en losplaatsen.

Lux Logistics beschikt over verschillende soorten voertuigen. Deze voertuigen verschillen in capaciteit. De capaciteit wordt uitgedrukt in laadmeters of europallets. Een standaard vrachtwagen heeft een capaciteit van 7,2 laadmeter of 18 europallets. De trekkers of opleggers hebben een capaciteit van 13,6 laadmeters of 33 europallets. Een camion Remork heeft een capaciteit van 14,4 laadmeter of 35 europallets. Een LZV (Langere en zwaardere vrachtautocombinatie) heeft een capaciteit van 25 laadmeter. Ook beschikken ze over verschillende soorten trailers. Een gewone trailer heeft een capaciteit van 80m³, een mega trailer van 100m³ en een Jumbo trailer van 120m³. Lux Logistics beschikt ook over enkele vrachtwagens die gekoelde producten kunnen vervoeren. Wanneer de planners in *NaviTrans* de orders aan een voertuig koppelen, dan krijgen ze een melding als ze de maximum capaciteit van dat voertuig overschrijden. Wanneer orders met gekoelde producten gepland moeten worden, is het de verantwoordelijkheid van de chauffeurs om deze orders toe te kennen aan voertuigen die gekoelde producten kunnen vervoeren.

Lux beschikt over één depot en één externe parking in Genk waar trailers gekoppeld kunnen worden. Wanneer ze verwachten dat veel vrachtwagens tegelijkertijd in het depot aankomen dan leggen ze een maximum op aan het aantal voertuigen dat mag toekomen. De routes zijn altijd gesloten, de chauffeurs starten en eindigen hun route altijd in het depot. Voor nationale chauffeurs wordt een dagplanning gemaakt. De planners proberen de routeplanning zo op te stellen dat de chauffeurs tegen de avond altijd kunnen terugkeren naar het depot. Wanneer chauffeurs door omstandigheden niet op tijd terug geraken bij het depot moeten zij overnachten in hun vrachtwagen.

Het bedrijf heeft veel vaste klanten die wekelijks dezelfde orders plaatsen. De planners proberen in mate van het mogelijke hun routeplanning zo op te stellen dat klanten bezocht worden door dezelfde chauffeurs. Er wordt in de planning geen rekening mee gehouden dat bepaalde voertuigen sommige wegen niet kunnen passeren omdat ze te breed of te hoog zijn. Soms mogen vrachtwagens bepaalde wegen enkel betreden tijdens een bepaald tijdsvenster, hiermee wordt rekening gehouden wanneer de planner hiervan op de hoogte is.

Niet alle goederen mogen samen vervoerd worden. In het verleden werd drank in glas soms samen vervoerd met plasticverpakkingen van een andere klant. Af en toe bleven er dan glasresten in de trailer liggen wat voor problemen heeft gezorgd. Dit moet dus vermeden worden. Omwille van concurrentie kunnen goederen van Pepsi en Coca-Cola niet samen vervoerd worden.

Op de meeste locaties moet Lux Logistics een afspraak maken met de klanten om goederen te laden of lossen. Bij bepaalde klanten kan dit tijdens hun openingsuren. Soms dan kan dit de hele voormiddag of de hele namiddag. Bij andere klanten moeten de leveringen binnen een kleiner tijdsvenster geleverd worden, bijvoorbeeld tussen 13u en 15u. De planner probeert eventueel tijdsverlies in te calculeren in de planning. De planners proberen ervoor te zorgen dat de chauffeurs ruim genoeg tijd hebben om op hun bestemming te geraken. Bij laattijdigheid op de losafspraak kan meestal nog gelost worden, maar soms worden hiervoor wachturen aangerekend of moet de chauffeur lang wachten tot er tijd vrij is voor hem.

De chauffeurs kunnen meerdere routes uitvoeren in één planningsperiode. Dit is afhankelijk van de te uit te voeren zendingen en afstanden. Beperkingen met betrekking tot de volgorde van de routes worden ook opgenomen in de routeplanning. Op de eerste stop kan bijvoorbeeld niets geladen worden als de wagen vol vertrokken is. Er staat geen maximum op de lengte van de route. Voor nationale chauffeurs proberen ze hun routes wel zo te plannen dat ze 's avonds terug naar het depot geraken.

Bij de meeste klantenorders van Lux Logistics worden goederen op een bepaalde locatie opgehaald, vervolgens naar het depot gebracht en daarna naar de eindlocatie gebracht. De uitvoering van het order gebeurt dus niet rechtstreeks. Soms liggen de ophaallocatie en afleverlocatie echter dicht bij elkaar en ver van het depot. Dan kunnen de goederen wel bij een klant opgehaald worden en rechtstreeks geleverd worden op de losplaats. Soms gaan de chauffeurs op éénzelfde adres zowel leveren als lossen. Het is dan mogelijk dat de chauffeurs gaan laden en lossen voor éénzelfde opdrachtgever maar dit kan ook voor verschillende opdrachtgevers zijn.

Enkel wanneer een klantenorder te groot is om met één voertuig uit te voeren dan kan het order door meerdere voertuigen worden uitgevoerd.

Lux Logistics probeert de werkdruk gelijk te verdelen tussen de chauffeurs. De werkdruk kan uiteenlopen per dag maar per maand is dit meer in evenwicht. Wanneer een chauffeur een zware rit heeft gehad dan proberen de planners deze chauffeur de dag erna een minder zware rit te geven. Ook wordt een onderscheid gemaakt tussen chauffeurs die nationale ritten doen of internationale ritten. Chauffeurs die internationale ritten doen hebben een zwaardere werklast dan de chauffeurs die nationale ritten doen.

Planners houden ook rekening met de rij- en rusttijden van de chauffeur. Maar in de praktijk moeten chauffeurs vaak zelf aangeven dat ze al lang aan het rijden zijn en hun verplichte pauze moeten nemen.

De kosten van de rit worden berekend op basis van afstand (50%) en gewicht (50%). De afstandskosten zijn ook asymmetrisch. Om het gewicht te berekenen wordt alles omgerekend naar het aantal laadmeter.

In de planning wordt het aantal kilometers dat met lege vrachtwagens wordt gereden tot een minimum beperkt. Zo wordt dan ook de CO₂-uitstoot geminimaliseerd. Bovendien wordt de CO₂-uitstoot ook beperkt door *ECO-driving* opleidingen te geven aan chauffeurs. In het najaar gaan ze deze opleiding opnieuw aan alle chauffeurs geven. Door hier opnieuw aandacht aan te besteden hopen ze dat het verbruik ook zal afnemen.

In de routeplanning wordt rekening gehouden met de piek- en daluren aan de hand van de kennis van de planners. De planner bouwt hier zelf een veiligheidsmarge op aan de hand van zijn kennis en ervaring.

Indien het voertuig nog niet volledig bezet is, dan kan een extra laadplaats toegevoegd worden aan de rit. De laad- of losplaats van klantenorders kan ook nog veranderen terwijl de rit uitgevoerd wordt. Dit kan als de nieuwe laad- of losplaats op afstand van maximum 40 kilometer ligt van de originele locatie die gepland was in de route. Hiervoor wordt wel een meerprijs aangerekend.

Soms zijn orders ook optioneel. Zo kunnen ze extra ritten doen voor AB Inbev en Coca-Cola, waarvan het uitvoeren een bonus oplevert.

Wanneer ze een capaciteitstekort hebben dan wordt voorrang gegeven aan bepaalde klanten. Orders van belangrijke klanten proberen ze altijd uit te voeren. Wanneer ze niet alle ritten zelf kunnen uitvoeren dan gaan ze bepaalde ritten uitbesteden. Routes worden vaak uitbesteed wanneer ze geen retourlading hebben. Zo worden lege ritten vermeden.

Voorraadbeperkingen worden niet opgenomen in hun planning. Klanten moeten zelf tijdig hun orders plaatsen om hun voorraad aan te vullen.

Ook ladingsbeperkingen worden opgenomen in de routeplanning. De vrachtwagens worden steeds LIFO geladen zodat geen producten verzet moeten worden bij het lossen. Bij de koelwagens kan enkel vanuit de achterkant geladen of gelost worden. Alle andere voertuigen kunnen vanuit de zijkant geleverd worden. De planners moeten er ook voor zorgen dat de vrachtwagens niet te vol geladen worden. De planners weten wat de capaciteit van de vrachtwagens is en houden hiermee rekening in hun planning. Aan chauffeurs worden ook opleidingen gegeven over hoe ze de goederen moeten stapelen en stabiliteit kunnen verzekeren.

Volgens Lux Logistics zijn het gezond verstand van de planner en rekening houden met menselijke beperkingen ook belangrijke aspecten van routeplanning. De planners houden ook rekening met het feit dat niet alle chauffeurs even snel werken. Ritten waarvan de planning krap is, worden eerder toegekend aan chauffeurs die altijd vlot doorwerken. Ook met de ervaring van de chauffeurs wordt rekening gehouden in de planning.

3.1.5 Besluit

Lux Logistics maakt geen gebruik van een routeplanningssoftware om routes te plannen. Planners bepalen dagelijks de routes manueel. De planner bepaalt zelf welke orders samen worden genomen tot één rit, door rekening te houden met de bestemming en grootte van de orders. In de planning wordt rekening gehouden met een heterogene vloot, simultane ophaal- en afleveringsbeperkingen, voorrangbeperkingen, ladingsbeperkingen, uitbestedingsbeslissingen, optionele orders, een dynamische vraag en de ervaring van de chauffeurs. Bovendien kunnen ze ook chauffeurs meerdere routes laten uitvoeren en kan één order door meerdere voertuigen geleverd worden.

Het planproces is sterk afhankelijk van de kennis en de ervaring van de transportplanners. Zo proberen planners ervoor te zorgen dat klanten door dezelfde chauffeurs bediend worden en rekening te houden met het feit dat sommige vrachtwagens bepaalde wegen enkel mogen betreden tijdens een bepaald tijdsvenster. Ook proberen ze op basis van hun kennis ervoor te zorgen dat de chauffeurs

binnen het tijdsvenster aanwezig zijn op de laad- en losplaatsen, rekening te houden met piek- en daluren en rij- en rusttijden van de chauffeurs. Ze proberen ook de werklast te balanceren tussen chauffeurs voor zover dit mogelijk is.

Lux Logistics probeert de ritten zo efficiënt mogelijk te plannen om de kosten te minimaliseren. Zonder een planningsprogramma is dit niet altijd vanzelfsprekend. Om de planners te ondersteunen wil het bedrijf in de toekomst een planningsprogramma implementeren.

3.2 H.Essers

3.2.1 Omschrijving bedrijf

H.Essers biedt gepersonaliseerde en geïntegreerde transport- en logistieke oplossingen aan over heel Europa. Het bedrijf werd in 1928 opgericht door Henri Essers. Door vele overnames te doen is het bedrijf sterk gegroeid. Momenteel telt het bedrijf 6560 medewerkers en heeft het 73 verschillende vestigingen in 17 landen. H.Essers beschikt momenteel over 1060000 m² aan magazijnruimte. Ze beschikken over 1475 trekkers en 3440 aanhangwagens.



Figuur 6: Vrachtwagens H.Essers (H.Essers, z.d.)

Ze bieden transport aan voor verschillende sectoren waaronder chemie, farmaceutica/*healthcare*, voeding, diervoeding, *general cargo*, uitzonderlijk vervoer en kwalitatief hoogstaande goederen. Ze zijn bovendien marktleider in Europa in het aanbieden van *High Security* oplossingen. Enkele belangrijke klanten zijn Proximus, Nike, Atlas Copco, Unilever en Pfizer.

3.2.2 Planproces

H.Essers beschikt over verschillende bedrijfsonderdelen waaronder *farma*, waar het farmaceutische transport geregeld wordt, *cargo* waar de algemene goederen vervoerd worden, *polymer* waar het bulktransport vervoerd wordt en ten slotte de *high value* afdeling waarbij het transport geregeld wordt van goederen die sterk beveiligd moeten worden. De planning kan verschillen tussen de verschillende bedrijfsonderdelen. Het planproces van de afdeling *general cargo* wordt verder uitgewerkt.

Wanneer een order binnenkomt, wordt het order uitgesplitst in een afhaal- en afleverorder. Dit betekent dat een order wordt opgehaald bij de afhaallocatie, het order vervolgens naar het *crossdock* van H.Essers wordt gebracht en daarna van het *crossdock* naar de eindbestemming wordt gebracht. Soms worden orders wel rechtstreeks van het afhaalpunt naar het afleverpunt getransporteerd maar dit is eerder zeldzaam. De chauffeurs die internationale routes rijden vertrekken 's nachts, nationale chauffeurs vertrekken in de ochtend tussen 6u-9u.

H.Essers beschikt over een tool die de planning zelf maakt maar deze wordt nog niet overal in het bedrijf gebruikt. Op dit moment wordt de tool voornamelijk gebruikt voor stukgoed. Dit zijn kleine nationale zendingen van minder dan 1,2 ton en maximum drie palletten. Op termijn wil het bedrijf de planningstool ook gebruiken voor grotere zendingen en internationale zendingen, waarvan de planning nu nog manueel gebeurt.

Voor de ritten die manueel ingepland worden, kunnen de planners gebruik maken van een applicatie uit hun *TMS* waarin de orders worden weergegeven die ingepland moeten worden. Aan de hand van deze applicatie stellen planners manueel de ritten op. De planners beslissen zelf welke orders best samengenomen worden tot één rit. Hier zijn geen regels aan verbonden en dit is volledig de vaardigheid van de planner. Uiteraard gaan zendingen die dicht bij elkaar liggen samen genomen worden. De routeplanning wordt één dag op voorhand gemaakt.

Elke planner moet dagelijks routes voor eenzelfde gebied plannen. Duitsland wordt bijvoorbeeld opgesplitst in Noord- en Zuid-Duitsland. Midden in het land is er een scheidingslijn, orders boven de scheidingslijn worden door bepaalde planners ingepland en orders onder de scheidingslijn worden aan andere planners toegewezen. Tussen deze twee gebieden kunnen orders soms wel uitgewisseld worden omdat ze in hetzelfde land liggen. Orders uit verschillende landen kunnen niet samen in één rit gepland worden. Bijvoorbeeld een order uit Duitsland en een order uit Frankrijk, beiden gelegen aan het grensgebied Frankrijk-Duitsland, kunnen niet samen uitgevoerd worden in één rit.

Op de afdeling internationaal transport beschikt H.Essers over export- en importplanners. Pas als het exportorder voltooid is dan wordt aan deze vrachtwagen een importorder toegekend. Stel dat een vrachtwagen vanuit Genk vertrekt naar afleverlocatie in Duitsland, dan wordt pas wanneer het order geleverd is en de vrachtwagen leeg is, een signaal doorgegeven aan de importplanner dat deze vrachtwagen vrij is en kunnen vervolgens afhaalorders gepland worden. De import- en exportplanners houden dus geen rekening met elkaar. In de softwaretool wordt hier wel rekening mee gehouden en worden deze met elkaar afgewogen. De tool gaat dan zoeken naar afhaalorders die dicht bij het afleverorder liggen.

3.2.3 Planningssoftware

H.Essers beschikt over een softwaretool genaamd PHOR die automatisch de planning genereert. Momenteel wordt deze tool voornamelijk gebruikt voor kleine nationale zendingen (stukgoed) van minder dan 1,2 ton en maximum drie palletten. Deze software wordt 's nachts gedraaid. Meestal worden een aantal orders niet ingepland omwille van bepaalde problemen bij de data. De planner plant deze dan manueel in. Het is mogelijk om in de softwaretool manueel extra orders op een rit te zetten.

De softwaretool wordt nog niet voor andere orders dan stukgoed gebruikt maar op termijn is dat wel de bedoeling. De grootste belemmering is momenteel datakwaliteit. De klant stuurt niet altijd de correcte data door. Soms geven klanten geen correcte gewichtsinformatie mee. Soms vergeet de klant een gewicht in te geven waardoor het aantal kilogram van dat order 0 is. De software zou dan een oneindig aantal orders op een wagen gaan stoppen. Wanneer een manuele planner dit tegenkomt dan kan hij op basis van zijn ervaring inschatten hoeveel kilogram of laadmeter het order is. Ook tijdsvensters en adressen worden niet altijd goed doorgegeven.

Heel veel informatie zit in het hoofd van de planner. Zo komen veel orders bijvoorbeeld dagelijks terug en weet de planner op welke zaken hij moet letten bij welke klant. Zo geven klanten ook bijna altijd aan dat er gelost moet worden met een laadklep terwijl de planners weten dat op een aantal locaties waar die klant gaat leveren geen laadklep nodig is. Momenteel zit deze informatie nog niet in het systeem maar het is wel mogelijk om dit op te nemen. In de tool staat een ook een strikte capaciteitsbeperking. In realiteit gaan planners wel vaker over de maximumcapaciteit van een voertuig.

Het voordeel van een planningssoftware is dat wanneer alles in het systeem zit, iedereen de routes kan plannen. Een nieuwe planner kan dan in het systeem nagaan wat de vereisten zijn bij een specifieke klant.

3.2.3 Beperkingen

H.Essers beschikt over heel wat verschillende soorten voertuigen. Het kleinste type voertuig is een bestelwagen. Dit is een klein voertuig dat voornamelijk gebruikt wordt voor *express* leveringen van heel kleine orders. In een bestelwagen passen geen palletten. Het bedrijf beschikt ook over bakwagens, waar ze slechts een heel beperkt aantal van hebben. In de bakwagens passen maar een beperkt aantal palletten. Distributiewagens worden gebruikt voor stukgoed dat binnen België vervoerd wordt. Deze voertuigen hebben een capaciteit tot 17 ton. Er bestaan ook nog grotere distributiewagens die een capaciteit hebben van 24 ton. Ze hebben ook voertuigen met verschillende technische uitrustingen. Zo beschikt H.Essers ook over schuifwagens die langszij geladen en gelost kunnen worden. Ze hebben ook *high security* containers voor goederen die goed beveiligd moeten worden. Het bedrijf heeft ook voertuigen met frigo's voor temperatuurgevoelige orders. Bovendien beschikken ze ook over *dual temp* wagens die verschillende goederen kunnen vervoeren die elk op een bepaalde temperatuur gehouden moeten worden.

Een belangrijke beperking die in de planning moet worden opgenomen is tijdsvensters op klanten. Soms moet er geleverd worden tijdens de openingsuren van de laad- en losplaatsen, die vaak overeenkomen met de gewone kantooruren (8u-17u), maar soms moeten afspraken gemaakt worden om te laden of lossen. Dit wordt een slotboeking genoemd en komt meestal overeen met een tijdsvenster van een of twee uur. Manuele planners houden rekening met deze tijdsvensters in hun rittenplanning. De softwaretool kan ook rekening houden met deze tijdsvensters maar het programma is hier strikt in. De tool zorgt ervoor dat het order tijdens het vooraf opgelegde tijdsvenster aankomt op de laad- of losplaats. Terwijl de planner misschien weet dat orders bij bepaalde klanten ook een kwartier later mogen aankomen en dat geen probleem is. Deze informatie is moeilijk om in hun software te zetten.

Bepaalde klanten hebben strikte voorschriften en regelgevingen omtrent het transport van hun product. Om bepaalde goederen te transporteren moeten chauffeurs een veiligheidsbriefing volgen. Dit heeft als gevolg dat niet elke chauffeur elke rit kan uitvoeren. De planners weten meestal welke chauffeurs welke producten mogen vervoeren maar deze informatie kan ook teruggevonden worden in het systeem. Planners weten meestal ook welke wegen niet toegankelijk zijn voor voertuigen die te breed of te hoog zijn, deze informatie zit nog niet in de planningstool. De planningstool houdt wel rekening met de efficiëntie van chauffeurs. Een chauffeur die altijd naar Luik heeft gereden, kent

daar goed de weg en weet op welke locatie hij moet zijn. Deze chauffeur gaat daar vlotter rijden dan iemand die nog nooit in deze regio is geweest. De planningstool neemt dit efficiëntieverschil op door de stoptijd per locatie van elke chauffeur te laten variëren. Niet alle goederen mogen samen vervoerd worden. Hier houden de planners rekening mee en deze informatie is ook verwerkt in de softwaretool. Zowel de planners als de softwaretool houden ook rekening met de rij- en rusttijden.

Rond 17u begint het druk te worden in het depot en komen veel vrachtwagens tegelijkertijd binnen. De planners houden geen rekening met een maximum aantal voertuigen dat mag aankomen in het depot. Dit vormt momenteel niet echt een probleem want alles wat niet meteen gelost kan worden, wordt op de parking gezet. De softwaretool houdt op dit moment ook geen rekening met een maximum aantal voertuigen dat het depot mag binnenrijden tijdens een bepaald tijdsvenster. Maar de tool heeft wel de mogelijkheid om een maximum capaciteit op het aantal voertuigen in het *crossdock* toe te wijzen. De tool gaat de routes dan zo plannen dat er niet teveel wagens tegelijkertijd binnenkomen.

Als een order te groot is om door één vrachtwagen te leveren dan kan de levering opgesplitst worden in meerdere leveringen. Klanten willen liever hun goederen in één keer krijgen.

Soms worden op één adres zowel goederen geleverd als opgehaald. Leeggoed wordt vaak ook terug meegenomen van de plek waar men gaat leveren.

De planners weten wanneer de piek- en daluren zijn en proberen hier rekening mee te houden tijdens de planning. De planningstool kan ook rekening houden met structurele files maar niet met ongevallen. De softwaretool laat zien hoeveel vertraging er is op elk stuk en gaat ook de planning hieraan aanpassen zodat de totale kosten geminimaliseerd worden.

Bij de planning wordt geen rekening gehouden met voorraad van klanten, klanten moeten altijd zelf hun orders plaatsen.

Ritten kunnen aangepast worden terwijl de rit al bezig is. In de loop van de dag belt de planner de chauffeur wel eens om te vragen of hij nog een extra afhaling kan gaan doen.

H.Essers heeft een grote capaciteit aan eigen wagens. Daarbuiten hebben ze ook een aantal onderaannemers waarbij afspraken gemaakt zijn dat ze elke dag een aantal wagens ter beschikking hebben. Als ze daarbuiten ritten niet zelf kunnen rijden dan kunnen ze de rit ook verkopen aan een andere transporteur. De ritten van de belangrijkste klanten worden door eigen wagens gereden. Bij sommige klanten is er ook in het contract overeengekomen dat hun goederen door een wagen van H.Essers zelf getransporteerd moeten worden.

De planners houden geen rekening met milieuaspecten. Ze zijn momenteel wel onderzoek aan het doen om een CO₂-uitstoot berekening te gaan doen op orderniveau. Dus misschien kan dit in de toekomst wel toegevoegd worden aan de softwaretool.

3.2.4 Besluit

In H.Essers worden de meeste routes nog manueel gepland. Op de afdeling *general cargo* wordt een softwaretool gebruikt om routes te plannen voor het stukgoed. Het overgrote merendeel van de kennis van de chauffeurs kan in de software gezet worden. Zowel de manuele planning als de softwaretool houden rekening met een heterogene vloot, tijdsvensters, rij- en rusttijden, de efficiëntie van de chauffeurs, voorrangsbependingen, asymmetrische kosten, ladingsbependingen, simultaan afhaken en afleveren, voertuigen met compartimenten, uitbestedingsbeslissingen en een dynamische vraag. Chauffeurs kunnen meerdere ritten uitvoeren en één order kan opgesplitst worden in meerdere leveringen. De planners houden op basis van hun kennis ook rekening met pieken en dalen. De planningstool kan rekening houden met structurele files. De softwaretool houdt momenteel nog geen rekening met welke wegen ontoegankelijk zijn voor voertuigen die te breed of te hoog zijn. Maar het is wel mogelijk om deze informatie in de tool te verwerken. Ook bependingen die de CO₂-uitstoot minimaliseren zouden kunnen worden opgenomen in de softwaretool. Alle bependingen die in de manuele planning worden opgenomen, kunnen ook in de softwaretool gezet worden.

De softwaretool werkt nog niet optimaal omdat ze problemen hebben met de kwaliteit van de inputdata. Klanten geven niet altijd het correcte gewicht, adres en tijdsvenster door. Daarom moet de planner nadat de softwaretool een planning gegenereerd heeft, nog orders manueel toevoegen aan de ritten. De datakwaliteit houdt H.Essers momenteel tegen om volledig over te stappen naar planning via een softwaretool.

4. Vergelijking literatuur praktijk

De wetenschappelijke varianten van het *Capacitated Vehicle Routing Problem* die in de literatuur besproken worden, komen in hun pure vorm niet voor in de praktijk. Bij praktijkproblemen moet rekening gehouden worden met veel complexe beperkingen. De laatste jaren is in de literatuur steeds meer aandacht voor *Rich VRP's*, die meerdere beperkingen opnemen en de realiteit trachten te weerspiegelen. In de literatuurstudie werden 25 recente *Rich VRP's* bestudeerd en werd gekeken welke beperkingen opgenomen werden in deze rittenplanningsproblemen. Tabel 3 geeft weer hoe vaak deze beperkingen werden opgenomen in de onderzochte studies en of deze beperkingen ook werden opgenomen in de rittenplanning van Lux Logistics en H.Essers. Deze beperkingen staan gesorteerd volgens het aantal onderzochte artikels waarin ze zijn opgenomen.

Afkorting	Beperking	Literatuur	Lux Logistics	H.Essers
HV	Heterogene vloot	84%	x	x
TW	Tijdsvensters	84%	x	x
LR	Beperkingen m.b.t. duur van de route	56%		
PD	Afhalen en afleveren	52%	x	x
IC	Incompatibiliteiten	44%	x	x
DR	Rij- en rusttijden	32%	x	x
MO	Meerdere doelfuncties	32%		x
MT	Meerdere ritten	28%	x	x
MD	Meerdere depots	24%		
MP	Meerdere periodes	24%		
PC	Voorrangsbeperkingen	24%	x	x
TD	Tijdsafhankelijke/dynamische reistijden	24%	x	x
MV	Deelleveringen	20%	x	x
OR	Open routes	20%		
CA	Asymmetrische kostenmatrix	16%	x	x
PoC	Prioriteitsbepaling van klanten	16%	x	
BR	Gebalanceerde routes	8%	x	
LC	Ladingsbeperkingen	8%	x	x
PS	Simultaan afhalen en afleveren	8%	x	x
CV	Voertuigen met compartimenten	4%		x
EV	Milieu gerelateerde beperkingen	4%		
IN	Beperkingen i.v.m. voorraadniveau	4%		
OD	Uitbestedingsbeslissingen	4%	x	x
OV	Optionele orders	4%	x	
SD	Stochastische/Dynamische vraag	4%	x	x

Tabel 3: Vergelijking van beperkingen in de literatuur en praktijk

In de onderzochte *Rich VRP's* werd meestal rekening gehouden met een heterogene vloot. Ook in de praktijk gaan bedrijven meestal meerdere soorten voertuigen ter beschikking hebben. Zowel Lux Logistics als H.Essers hebben voertuigen die verschillen in capaciteit en technische uitrusting.

In 84% van de bestudeerde studies werden tijdsvensters opgenomen. In de literatuur werden voornamelijk harde tijdsvensters bij klanten opgenomen. In de praktijk zal bijna altijd een laad- of

losafpraak gemaakt moeten worden bij de klanten. Zelfs als het transportbedrijf geen afspraak met de klant moet maken, moet er rekening gehouden worden met de openingsuren van de laad- en loslocaties. Transportbedrijven gaan in hun planning dus altijd rekening moeten houden met tijdsvensters op klanten. In de praktijk gaan deze tijdsvensters meestal zacht zijn. Wanneer de transporteurs te laat aankomen bij een klant dan wordt soms een extra kost aangerekend, maar ze kunnen meestal wel nog leveren.

Beperkingen die ervoor zorgen dat goederen zowel opgehaald als geleverd kunnen worden, komen in iets meer dan de helft van de bestudeerde rittenplanningsproblemen in de literatuur voor. Transportbedrijven zoals Lux Logistics en H.Essers moeten altijd eerst goederen gaan ophalen op een bepaalde locatie en deze hierna lossen op een andere locatie. Transportbedrijven gaan deze beperkingen dus altijd moeten opnemen in hun rittenplanning.

Iets minder dan de helft van de bestudeerde studies nemen incompatibiliteiten in hun routeplanning op. In de onderzochte literatuur nemen enkele studies beperkingen op die ervoor zorgen dat bepaalde klanten niet bezocht mogen worden met alle voertuigen. Ook bij Lux Logistics en H.Essers kan niet elk voertuig elke klant bezoeken. Bij H.Essers moeten chauffeurs gekwalificeerd zijn om bepaalde goederen te vervoeren. In de literatuur wordt er soms rekening mee gehouden dat niet alle voertuigen alle wegen kunnen passeren, omdat ze te breed of te hoog zijn. Lux Logistics en H.Essers geven aan dat dit moeilijker is om te nemen in de rittenplanning. De manuele planners zijn hier niet altijd van op de hoogte en deze informatie is ook niet altijd beschikbaar om op te nemen in softwaretools. Zowel Lux Logistics als H.Essers halen aan dat ze in hun planning er rekening mee moeten houden dat niet alle goederen samen vervoerd mogen worden. In de onderzochte literatuur legt slechts één studie extra beperkingen op die ervoor zorgen dat bepaalde goederen niet samen vervoerd mogen worden.

In de onderzochte literatuur kunnen bij 28% van de rittenplanningsproblemen meerdere ritten per voertuig gepland worden in één planningsperiode. Ook Lux Logistics en H.Essers plannen meerdere ritten in per voertuig in één planningsperiode.

In 24% van de onderzochte artikels werden beperkingen opgenomen die te maken hebben met een tijdsafhankelijke reistijd. Ook Lux Logistics probeert rekening te houden met de piek- en daluren maar dit is afhankelijk van de kennis van de planner. De softwaretool van H.Essers kan rekening houden met structurele files.

In sommige van de bestudeerde studies kan één levering opgesplitst worden in meerdere leveringen. Bij Lux Logistics en H.Essers is dit ook mogelijk. Dit wordt wel enkel gedaan als een order te groot is en niet in één keer geleverd kan worden.

Beperkingen die te maken hebben met voertuigen met verschillende compartimenten werden slechts opgenomen bij 4% van de onderzochte studies. Niet alle bedrijven beschikken over dit soort voertuigen, dus deze beperkingen zijn niet altijd relevant om op te nemen. Lux Logistics heeft geen voertuigen met verschillende compartimenten. Voor een transportbedrijf zoals H.Essers zijn deze beperkingen wel belangrijk omdat ze veel temperatuur gecontroleerde zendingen doen en *dual temp* wagens ter beschikking hebben.

Voorraadbeperkingen en beperkingen met betrekking tot milieu worden weinig opgenomen in zowel rittenplanningsproblemen in de literatuur als de praktijk. Lux Logistics en H.Essers houden allebei geen rekening met voorraadbeperkingen. Lux Logistics houdt ook niet rechtstreeks rekening met beperkingen die te maken hebben met het milieu. Ze proberen wel het aantal lege kilometers te minimaliseren, wat een impact gaat hebben op de CO₂-uitstoot. H.Essers houdt momenteel geen rekening met beperkingen die te maken hebben met het milieu maar in de toekomst is er wel de mogelijkheid om in de softwaretool hiermee rekening te houden.

Beperkingen met betrekking tot de duur van de rit worden in ongeveer de helft van de onderzochte artikels in de literatuur opgenomen. Bij Lux Logistics en H.Essers wordt deze beperking niet opgenomen. Lux Logistics probeert wel te zorgen dat nationale chauffeurs in de avond kunnen terugkeren naar het depot, daarom gaan ze later op de dag geen lange ritten meer toekennen aan de chauffeurs. Ze leggen geen maximum lengte op aan de rit maar de planners proberen ervoor te zorgen dat de rit in de avond terug geraakt naar het depot. Bovendien moeten transporteurs altijd rekening houden met de rij- en rusttijden van de chauffeurs, wat ervoor gaat zorgen dat de chauffeurs maar een bepaald aantal uur achter elkaar kunnen rijden. In de onderzochte literatuur werd slechts bij 32% van de artikels rekening gehouden met rij- en rusttijden van de chauffeurs, terwijl hier in de realiteit altijd rekening mee gehouden moet worden. Lux Logistics en H.Essers plannen de routes altijd enkel voor de volgende dag. In de literatuur over *Rich VRP's* bestaan ook problemen waarbij ritten voor meerdere periodes ingepland kunnen worden.

Gebalanceerde routes worden in slechts 8% van de bestudeerde studies opgenomen. H.Essers houdt geen rekening met deze beperkingen in de rittenplanning. Lux Logistics probeert hier wel in mate van het mogelijke rekening mee te houden.

Beperkingen die te maken hebben met simultaan afleveren en ophalen op één locatie komen zeer weinig voor in de literatuur. Beide geïnterviewde bedrijven hielden hier wel rekening mee. Zo halen beide bedrijven aan dat het wel vaker voorkomt dat er goederen geleverd en opgehaald moeten worden op eenzelfde locatie.

Ook ladingsbeperkingen worden weinig opgenomen in de bestudeerde rittenplanningsproblemen uit de literatuur. Bij zowel Lux Logistics als H.Essers zijn ladingsbeperkingen wel belangrijk. Bij beide bedrijven moeten de goederen LIFO geladen worden.

Uitbestedingsbeslissingen worden ook zeer weinig opgenomen in rittenplanningsproblemen in de literatuur. Bijna alle transportbedrijven besteden ook orders uit. Dit wordt vaak gedaan bij deelvrachten waarbij het bedrijf geen andere orders heeft in die regio. Het is dan duur om die rit zelf te maken en het order uitbesteden kan dan kosten besparen.

Een beperking die zeer weinig voorkomt in de literatuur is de dynamische vraag. In de praktijk daarentegen komt dit bijna altijd voor. Bedrijven willen hun trouwe klanten niet verliezen. Dus als deze klanten een *last minute* order doen, proberen ze het nog uit te voeren. Transportbedrijven geven aan dat de planning vaak nog wordt gewijzigd terwijl de chauffeurs hun ritten uit aan het voeren zijn. Wanneer transportbedrijven werken met een softwaretool is het belangrijk dat deze tool rekening houdt met een dynamische vraag.

In de literatuur wordt zelden tot nooit rekening gehouden met menselijke factoren. In de praktijk lijkt dit wel een belangrijk element te zijn. Lux Logistics geeft aan dat ze in hun planning rekening houden met het feit dat niet alle chauffeurs even snel werken. Ook de ervaring per chauffeur verschilt. H.Essers houdt in de softwaretool rekening met de efficiëntie van chauffeurs, als chauffeurs al vaker in een bepaald gebied zijn geweest dan gaat de rit vlotter.

5. Conclusie

De onderzoeksvraag van deze masterproef luidt: "Met welke beperkingen moeten transporteurs rekening houden om een zo realistisch mogelijke routeplanning te generen?". Om deze vraag te beantwoorden, wordt in deze masterproef enerzijds een literatuurstudie en anderzijds een praktijkonderzoek aan de hand van interviews uitgevoerd. Om een zo realistisch mogelijke rittenplanning op te stellen, moeten transporteurs rekening houden met beperkingen die van toepassing zijn in hun specifieke bedrijfscontext.

De eerste deelvraag van deze masterproef is: "Hoe wordt er in de literatuur omgegaan met realistische beperkingen bij rittenplanningsproblemen?". Om deze deelvraag te beantwoorden werden eerst de klassieke varianten van het rittenplanningsprobleem uit de wetenschappelijke literatuur gedefinieerd. Deze klassieke varianten van het *Vehicle Routing Problem* nemen elk beperkingen op die specifiek zijn voor dat probleem. Deze pure varianten komen nauwelijks voor in de realiteit, maar de beperkingen uit deze verschillende rittenplanningsproblemen worden vaak gecombineerd in één probleem waardoor het probleem beter de realiteit benaderd. Het *Rich Vehicle Routing Problem* wordt in deze masterproef gedefinieerd als een rittenplanningsprobleem dat meerdere realistische beperkingen opneemt en op deze manier de realiteit tracht te weerspiegelen. De beperkingen die worden opgenomen in een *Rich Vehicle Routing Problem* zijn afhankelijk van de context van het probleem. In deze masterproef wordt een literatuuroverzicht gegeven van recente *Rich Vehicle Routing Problems* in verschillende contexten. Uit dit overzicht blijkt dat de meeste *Rich Vehicle Routing Problems* in de literatuur rekening houden met heterogene voertuigen. Ook nemen de meeste *Rich Vehicle Routing Problems* tijdsvensters op in hun routeplanning. Beperkingen met betrekking tot de duur van de route, afhaal- en afleverbeperkingen en incompatibiliteiten worden ook vaker opgenomen in recente *Rich Vehicle Routing Problems*. Soms houden recente *Rich Vehicle Routing Problems* ook rekening met rij- en rusttijden, meerdere doelfuncties, meerdere ritten, meerdere depots, meerdere planningsperiodes, voorrangbeperkingen en tijdsafhankelijke reistijden. De literatuur over het rittenplanningsprobleem is heel uitgebreid en er bestaan enorm veel rittenplanningsproblemen in verschillende contexten. In deze masterproef worden enkel de beperkingen besproken die het vaakst voorkomen. Bovendien werden in het literatuuroverzicht van deze masterproef enkel papers bestudeerd die zichzelf labelen als een *Rich Vehicle Routing Problem*. In de literatuur bestaan ook nog artikels die zichzelf niet definiëren als een *Rich Vehicle Routing Problem* maar wel meerdere realistische beperkingen opnemen.

De tweede deelvraag van deze masterproef luidt als volgt: "Hoe plannen transporteurs hun routes?". Om deze deelvraag te beantwoorden werden twee transportbedrijven geïnterviewd. De rittenplanning kan volledig manueel opgesteld worden door een transportplanner of met behulp van een routeplanningssoftware.

Bij Lux Logistics wordt momenteel nog geen gebruik gemaakt van een routeplanningssoftware en worden de routes nog manueel gepland. In het verleden konden niet al hun vereisten geautomatiseerd worden, dus verkozen ze een manuele planning. Het manueel proces is zeer tijdrovend. De planners maken aan de hand van de gegevens uit een *TMS* elke dag een overzicht

van welke orders de volgende dag uitgevoerd moeten worden. De planner moet zelf bepalen welke orders best samen worden genomen. De kwaliteit van de routes hangt sterk af van de kennis en de ervaring van de transportplanners. Deze rittenplanning wordt doorheen de dag constant gewijzigd omdat er altijd nog nieuwe orders bijkomen voor de volgende dag. De afgelopen jaren zijn routeplanningssoftwareprogramma's sterk geëvolueerd. Hierdoor bestaan er tegenwoordig wel planningsprogramma's die voldoen aan de eisen van Lux Logistics. Daarom wil Lux Logistics in de toekomst wel een routeplanningssoftwareprogramma implementeren. Door gebruik te maken van een softwareprogramma gaan de routes beter gepland kunnen worden en gaat het planningsproces minder tijd innemen.

Bij H.Essers worden ook veel routes nog manueel gepland. Maar in enkele afdelingen, waaronder *general cargo*, werken ze wel met een routeplanningssoftware. Op de afdeling *general cargo* wordt een routeplanningssoftware gebruikt voor stukgoed, dit zijn kleine nationale zendingen. Op termijn is het de bedoeling om op alle afdelingen een routeplanningssoftware te gebruiken. In deze software kunnen alle beperkingen die worden opgenomen bij de manuele rittenplanning ook opgenomen worden, maar ze ondervinden nog problemen met de kwaliteit van de inputdata. Het programma werkt enkel wanneer de inputdata correct is. Soms geven klanten echter niet alle informatie door of geven ze verkeerde informatie. Hierdoor gaat een aantal orders niet ingepland worden. Deze moeten dan manueel ingepland worden.

Hoewel het implementeren van routeplanningsprogramma's meerdere voordelen levert zoals kostenbesparingen, tijdsbesparing en betere klantenbediening, is een volledig geautomatiseerde routeplanning zeldzaam. Manuele interventie door de transportplanners is nodig om routes te verifiëren en indien nodig deze aan te passen.

De derde deelvraag van deze masterproef is: "Met welke beperkingen moeten bedrijven rekening houden bij het plannen van ritten?". Om deze vraag te beantwoorden wordt nagegaan of de beperkingen die worden teruggevonden in de literatuur ook worden opgenomen bij de rittenplanning in de praktijk.

Zowel bij de manuele planning van Lux Logistics als bij de routeplanningssoftware van H.Essers worden beperkingen opgenomen met betrekking tot een heterogene vloot, tijdsvensters, (simultane) afhaal- en aflevering, incompatibiliteiten, rij- en rusttijden, meerdere ritten, voorrangbeperkingen, deelleveringen, ladingsbeperkingen, uitbestedingsbeslissingen en dynamische vraag.

In de literatuur wordt zelden rekening gehouden met een dynamische vraag, terwijl dit in de praktijk een zeer belangrijk aspect is van de planning. Transportbedrijven krijgen vaak *last minute* orders binnen, waardoor de planning dus vaak gewijzigd moet worden. Ook tijdens het uitvoeren van de rit kunnen er extra orders bijkomen op deze rit. Wanneer transportfirma's een routeplanningssoftware gebruiken, hebben ze nood aan een programma dat rekening kan houden met dit dynamisch aspect.

Ook beperkingen die te maken hebben met simultaan goederen afleveren en ophalen op éénzelfde locatie worden zeer weinig opgenomen in de papers die in deze masterproef onderzocht werden. In de praktijk komt het echter wel vaker voor dat op één locatie zowel goederen gelost als geladen worden.

In de onderzochte literatuur worden ladingsbeperkingen ook beperkt opgenomen in rittenplanningsproblemen, terwijl deze beperkingen in de praktijk wel relevant blijken te zijn.

In de praktijk moeten bedrijven ook vaak beslissen of orders uitbesteed moeten worden of niet. Het is dus ook belangrijk om uitbestedingsbeslissingen mee op te nemen in het rittenplanningsprobleem. In de onderzochte literatuur werden uitbestedingsbeslissingen slechts zelden mee op genomen.

Bij een manuele planning proberen planners rekening te houden met tijdsafhankelijke reistijden, op basis van hun ervaring weten planners wanneer de piek- en daluren zijn. Maar de mate waarin ze rekening houden hiermee is sterk afhankelijk van de kennis van de planners. De routeplanningssoftware van H.Essers kan rekening houden met structurele files.

In de praktijk is het ook belangrijk om rekening te houden met de menselijke factoren van de chauffeur. Bij Lux Logistics houden de transportplanners rekening met het feit dat niet alle chauffeurs even snel werken en dat sommige chauffeurs meer ervaring hebben dan anderen. Ook H.Essers houdt in hun routeplanningsprogramma hiermee rekening door beperkingen op te nemen met de efficiëntie van de chauffeurs.

Welke beperkingen worden opgenomen zijn afhankelijk van de eigenschappen van het bedrijf. Zo heeft H.Essers in tegenstelling tot Lux Logistics ook voertuigen met verschillende compartimenten en moeten ze hierbij rekening houden in hun rittenplanning. Lux Logistics daarentegen houdt ook rekening met optionele orders in hun planning omdat zij deze kunnen uitvoeren voor bepaalde klanten. Ook gaat Lux Logistics prioriteit geven aan bepaalde klanten wanneer ze een capaciteitstekort hebben en trachten ze de werklust tussen de chauffeurs te balanceren.

6. Aanbevelingen en toekomstig onderzoek

Rittenplanningsproblemen worden steeds complexer. Transportbedrijven moeten onder andere rekening houden met rij- en rusttijden van chauffeurs, tijdsvensters, dynamische reistijden, ladingsbeperkingen en uitbestedingsbeslissingen. Door gebruik te maken van een routeplanningssoftware kunnen complexe routes efficiënter gepland worden. Manuele planners blijven wel belangrijk om routes te verifiëren.

De laatste jaren wordt in de literatuur meer aandacht gehecht aan *Rich Vehicle Routing Problems*. Maar in de literatuur worden nog steeds vereenvoudigde rittenplanningsproblemen opgesteld die veronderstellen dat alle voertuigen homogeen zijn, dat reistijden vast zijn en die geen rekening houden met tijdsvensters en rij- en rusttijden. Deze vereenvoudigde rittenplanningsproblemen kunnen niet toegepast worden in de praktijk. Bijna elk bedrijf heeft voertuigen die verschillen in capaciteit en technische uitrusting. De duur van een route gaat altijd afhankelijk zijn van het tijdstip van de dag. Tijdens de piekuren gaat een rit langer duren. Beperkingen met tijdsvensters op klanten gaan in de praktijk ook altijd moeten worden opgenomen in de rittenplanning, want men moet altijd rekening houden met de openingsuren van de laad- en loslocaties. In de literatuur worden tijdsvensters wel vaker opgenomen in rittenplanningsproblemen maar er bestaan ook nog steeds papers die hier geen rekening mee houden. Bovendien zijn de meeste tijdsvensters die in rittenplanningsproblemen in de literatuur worden opgenomen hard. Terwijl in de praktijk de tijdsvensters bijna altijd zacht zijn. Beperkingen met betrekking tot de rij- en rusttijden gaan in de praktijk ook altijd mee opgenomen moeten worden in de rittenplanning. Aan voorgaande beperkingen moet meer belang gehecht worden in de rittenplanningsliteratuur, zodat deze rittenplanningsproblemen de realiteit beter benaderen.

In deze masterproef werden enkel de beperkingen bij rittenplanningsproblemen besproken die het meest voorkwamen in de literatuur. In de literatuur bestaan echter nog heel wat andere beperkingen. In toekomstig onderzoek kan er een overzicht gemaakt worden van alle bestaande realistische beperkingen die worden opgenomen in rittenplanningsproblemen.

In de literatuurstudie van deze masterproef werden 25 *Rich Vehicle Routing Problems* bestudeerd en werd gekeken welke beperkingen deze auteurs in hun rittenplanningsprobleem opnamen. In de wetenschappelijke literatuur bestaan echter enorm veel rittenplanningsproblemen met realistische beperkingen. In verder onderzoek kan een vollediger overzicht gemaakt worden met meer *Rich Vehicle Routing Problems* en met welke beperkingen worden opgenomen in deze problemen.

In dit onderzoek werden slechts twee bedrijven geïnterviewd. Om de conclusies van dit onderzoek te bevestigen zouden meer bedrijven geïnterviewd moeten worden. Beide bedrijven zijn ook transportbedrijven. Bij bedrijven die ook zelf hun producten produceren gaan andere beperkingen belangrijk zijn in hun rittenplanning. Deze bedrijven gaan waarschijnlijk meer belang hechten aan beperkingen die te maken hebben met de voorraad. Dit kan verder onderzocht worden interviews af te nemen bij bedrijven die zelf goederen produceren maar ook het transport zelf organiseren.

7. Referenties

- Al Hla, Y. A., Othman, M., & Saleh, Y. (2019). Optimising an eco-friendly vehicle routing problem model using regular and occasional drivers integrated with driver behaviour control. *Journal of Cleaner Production*, 234, 984-1001.
- Alcaraz, J. J., Caballero-Arnaldos, L., & Vales-Alonso, J. (2019). Rich vehicle routing problem with last-mile outsourcing decisions. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 129, 263-286.
- Archetti, C., & Speranza, M. G. (2012). Vehicle routing problems with split deliveries. *International transactions in operational research*, 19(1-2), 3-22.
- Ayadi, R., & Benadada, Y. (2013). Memetic Algorithm for a Multi-Objective Vehicle Routing Problem with Multiple Trips. *IJCSA*, 10(2), 72-91.
- BañOs, R., Ortega, J., Gil, C., Márquez, A. L., & De Toro, F. (2013). A hybrid meta-heuristic for multi-objective vehicle routing problems with time windows. *Computers & Industrial Engineering*, 65(2), 286-296.
- Borcinova, Z. (2017). Two models of the capacitated vehicle routing problem. *Croatian Operational Research Review*, 463-469.
- Caceres-Cruz, J., Arias, P., Guimarans, D., Riera, D., & Juan, A. A. (2015). Rich vehicle routing problem: Survey. *ACM Computing Surveys (CSUR)*, 47(2), 32.
- Çatay, B. (2010). A new saving-based ant algorithm for the vehicle routing problem with simultaneous pickup and delivery. *Expert systems with applications*, 37(10), 6809-6817.
- Cattaruzza, D., Absi, N., & Feillet, D. (2016). Vehicle routing problems with multiple trips. *4OR*, 14(3), 223-259.
- Cattaruzza, D., Absi, N., Feillet, D., & González-Feliu, J. (2017). Vehicle routing problems for city logistics. *EURO Journal on Transportation and Logistics*, 6(1), 51-79.
- Cepolina, E. M., & Farina, A. (2015). A new urban freight distribution scheme and an optimization methodology for reducing its overall cost. *European Transport Research Review*, 7(1), 1.
- Cherif-Khettaf, W. R., Rachid, M. H., Bloch, C., & Chatonnay, P. (2015). New notation and classification scheme for vehicle routing problems. *RAIRO-Operations Research*, 49(1), 161-194.
- Chevrier, R., Liefoghe, A., Jourdan, L., & Dhaenens, C. (2012). Solving a dial-a-ride problem with a hybrid evolutionary multi-objective approach: Application to demand responsive transport. *Applied Soft Computing*, 12(4), 1247-1258.
- Clarke, G., & Wright, J. W. (1964). Scheduling of vehicles from a central depot to a number of delivery points. *Operations research*, 12(4), 568-581.
- Coelho, L. C., Gagliardi, J.-P., Renaud, J., & Ruiz, A. (2016). Solving the vehicle routing problem with lunch break arising in the furniture delivery industry. *Journal of the Operational Research Society*, 67(5), 743-751.
- Contardo, C., & Martinelli, R. (2014). A new exact algorithm for the multi-depot vehicle routing problem under capacity and route length constraints. *Discrete Optimization*, 12, 129-146.
- Cuervo, D. P., Goos, P., Sörensen, K., & Arráiz, E. (2014). An iterated local search algorithm for the vehicle routing problem with backhauls. *European Journal of Operational Research*, 237(2), 454-464.
- Dantzig, G. B., & Ramser, J. H. (1959). The truck dispatching problem. *Management science*, 6(1), 80-91.
- Dayarian, I., Crainic, T. G., Gendreau, M., & Rei, W. (2015). A column generation approach for a multi-attribute vehicle routing problem. *European Journal of Operational Research*, 241(3), 888-906.
- de Armas, J., & Melián-Batista, B. (2015). Variable neighborhood search for a dynamic rich vehicle routing problem with time windows. *Computers & Industrial Engineering*, 85, 120-131.

- de Armas, J., Melián-Batista, B., Moreno-Pérez, J. A., & Brito, J. (2015). GVNS for a real-world rich vehicle routing problem with time windows. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 42, 45-56.
- De Giovanni, L., Gastaldon, N., Lauriola, I., & Sottovia, F. (2017). *A heuristic for multi-attribute vehicle routing problems in express freight transportation*. Paper presented at the International Conference on Optimization and Decision Science.
- De Giovanni, L., Gastaldon, N., & Sottovia, F. (2019). A two-level local search heuristic for pickup and delivery problems in express freight trucking. *Networks*, 74(4), 333-350.
- Derigs, U., Kurowsky, R., & Vogel, U. (2011). Solving a real-world vehicle routing problem with multiple use of tractors and trailers and EU-regulations for drivers arising in air cargo road feeder services. *European Journal of Operational Research*, 213(1), 309-319.
- Díaz-Madroñero, M., Peidro, D., & Mula, J. (2015). A review of tactical optimization models for integrated production and transport routing planning decisions. *Computers & Industrial Engineering*, 88, 518-535.
- Drexl, M. (2012). Rich vehicle routing in theory and practice. *Logistics Research*, 5(1-2), 47-63.
- Eksioglu, B., Vural, A. V., & Reisman, A. (2009). The vehicle routing problem: A taxonomic review. *Computers & Industrial Engineering*, 57(4), 1472-1483.
- Erdoğan, S., & Miller-Hooks, E. (2012). A green vehicle routing problem. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 48(1), 100-114.
- European Commission. (2011). WHITE PAPER roadmap to a single European transport area towards a competitive and resource efficient transport system. *COM (2011)*, 144.
- European Commission. (2019). *Transport in the European Union: Current Trends and Issues*. Retrieved from <https://ec.europa.eu/transport/sites/transport/files/2019-transport-in-the-eu-current-trends-and-issues.pdf>
- Flatberg, T., Hasle, G., Kloster, O., Nilssen, E. J., & Riise, A. (2007). Dynamic and stochastic vehicle routing in practice. In *Dynamic Fleet Management* (pp. 41-63): Springer.
- Fuellerer, G., Doerner, K. F., Hartl, R. F., & Iori, M. (2009). Ant colony optimization for the two-dimensional loading vehicle routing problem. *Computers & Operations Research*, 36(3), 655-673.
- Fukasawa, R., Longo, H., Lysgaard, J., De Aragão, M. P., Reis, M., Uchoa, E., & Werneck, R. F. (2006). Robust branch-and-cut-and-price for the capacitated vehicle routing problem. *Mathematical programming*, 106(3), 491-511.
- Füllerer, G. J. (2008). *Vehicle routing with multi-dimensional loading constraints*. uniwien,
- Gacias, B., Cegarra, J., & Lopez, P. (2012). Scheduler-oriented algorithms to improve human-machine cooperation in transportation scheduling support systems. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 25(4), 801-813.
- Goel, A., & Gruhn, V. (2008). A general vehicle routing problem. *European Journal of Operational Research*, 191(3), 650-660.
- Groër, C., Golden, B., & Wasil, E. (2009). The consistent vehicle routing problem. *Manufacturing & service operations management*, 11(4), 630-643.
- Gupta, A., Heng, C. K., Ong, Y.-S., Tan, P. S., & Zhang, A. N. (2017). A generic framework for multi-criteria decision support in eco-friendly urban logistics systems. *Expert systems with applications*, 71, 288-300.
- Gutin, G., Punnen, A. P., & Gutin, G. (2002). *The Traveling Salesman Problem and Its Variations*. New York, NY: Springer.
- H.Essers. (z.d.). Vrachtwagen H.Essers. Retrieved from <https://www.essers.com/>
- Hasle, G., & Kloster, O. (2007). Industrial vehicle routing. In *Geometric modelling, numerical simulation, and optimization* (pp. 397-435): Springer.
- Herrero, R., Rodríguez Villalobos, A., Cáceres-Cruz, J., & Juan, A. A. (2014). Solving vehicle routing problems with asymmetric costs and heterogeneous fleets. *International Journal of Advanced Operations Management*, 6(1), 58-80.

- Hoff, A., Andersson, H., Christiansen, M., Hasle, G., & Løkketangen, A. (2010). Industrial aspects and literature survey: Fleet composition and routing. *Computers & Operations Research*, 37(12), 2041-2061.
- Hosny, M. I. (2014). Bridging the Gap Between Theory and Practice in the Vehicle Routing Research. *International Journal of Applied Mathematics, Electronics and Computers*, 2(3), 15-18.
- Jemai, J., Zekri, M., & Mellouli, K. (2012). *An NSGA-II algorithm for the green vehicle routing problem*. Paper presented at the European Conference on Evolutionary Computation in Combinatorial Optimization.
- Kara, I. (2011). *Arc based integer programming formulations for the distance constrained vehicle routing problem*. Paper presented at the 3rd IEEE International Symposium on Logistics and Industrial Informatics.
- Kara, I., & Derya, T. (2011). *Polynomial size formulations for the distance and capacity constrained vehicle routing problem*. Paper presented at the AIP Conference Proceedings.
- Karoonsoontawong, A., Punyim, P., Nueangnitnaraporn, W., & Ratanavaraha, V. (2020). Multi-Trip Time-Dependent Vehicle Routing Problem with Soft Time Windows and Overtime Constraints. *Networks and Spatial Economics*, 1-50.
- Khodabandeh, E., Snyder, L. V., Dennis, J., Hammond, J., & Wanless, C. (2019). CH Robinson Uses Heuristics to Solve Rich Vehicle Routing Problems. *arXiv preprint arXiv:1912.13157*.
- Kirchler, D., & Calvo, R. W. (2013). A granular tabu search algorithm for the dial-a-ride problem. *Transportation Research Part B: Methodological*, 56, 120-135.
- Kleff, A., Bräuer, C., Schulz, F., Buchhold, V., Baum, M., & Wagner, D. (2017). *Time-Dependent Route Planning for Truck Drivers*. Paper presented at the International Conference on Computational Logistics.
- Kok, A. L., Hans, E. W., & Schutten, J. M. (2012). Vehicle routing under time-dependent travel times: the impact of congestion avoidance. *Computers & Operations Research*, 39(5), 910-918.
- Lahyani, R., Khemakhem, M., & Semet, F. (2015). Rich vehicle routing problems: From a taxonomy to a definition. *European Journal of Operational Research*, 241(1), 1-14.
- Leung, S. C., Zhou, X., Zhang, D., & Zheng, J. (2011). Extended guided tabu search and a new packing algorithm for the two-dimensional loading vehicle routing problem. *Computers & Operations Research*, 38(1), 205-215.
- Leyerer, M., Sonneberg, M.-O., Heumann, M., Kammann, T., & Breitner, M. H. (2019). Individually Optimized Commercial Road Transport: A Decision Support System for Customizable Routing Problems. *Sustainability*, 11(20), 5544.
- Lin, C., Choy, K. L., Ho, G. T., Chung, S. H., & Lam, H. (2014). Survey of green vehicle routing problem: past and future trends. *Expert systems with applications*, 41(4), 1118-1138.
- Liu, W.-Y., Lin, C.-C., Chiu, C.-R., Tsao, Y.-S., & Wang, Q. (2014). Minimizing the carbon footprint for the time-dependent heterogeneous-fleet vehicle routing problem with alternative paths. *Sustainability*, 6(7), 4658-4684.
- Lux Logistics. (z.d.). Vrachtwagen Lux Logistics. Retrieved from <https://www.luxlogistics.be/>
- Lysgaard, J., Letchford, A. N., & Eglese, R. W. (2004). A new branch-and-cut algorithm for the capacitated vehicle routing problem. *Mathematical programming*, 100(2), 423-445.
- Mahéo, A., Urli, T., & Kilby, P. (2016). Fleet size and mix split-delivery vehicle routing. *arXiv preprint arXiv:1612.01691*.
- Mancini, S. (2016). A real-life multi depot multi period vehicle routing problem with a heterogeneous fleet: Formulation and adaptive large neighborhood search based matheuristic. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 70, 100-112.
- Mehrjerdi, Y. Z. (2015). Multiple-criteria decision-making combined with vrp: A categorized bibliographic study. *International Journal of Supply and Operations Management*, 2(2), 798.
- Molina, J. C., Eguia, I., & Racero, J. (2018). An optimization approach for designing routes in metrological control services: a case study. *Flexible Services and Manufacturing Journal*, 30(4), 924-952.

- Montoya, A., Guéret, C., Mendoza, J. E., & Villegas, J. G. (2016). A multi-space sampling heuristic for the green vehicle routing problem. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 70, 113-128.
- Moon, I., Lee, J.-H., & Seong, J. (2012). Vehicle routing problem with time windows considering overtime and outsourcing vehicles. *Expert systems with applications*, 39(18), 13202-13213.
- Murray, M. (2018). Route Planning for Logistics and Distribution Companies. Retrieved from <https://www.thebalancesmb.com/route-planning-2221322>
- Nogareda, A. M., Del Ser, J., Osaba, E., & Camacho, D. (2020). On the design of hybrid bio-inspired meta-heuristics for complex multiattribute vehicle routing problems. *Expert Systems*, e12528.
- Nourma, A., Ridwan, A. Y., & Aurachman, R. (2018). Designing Distribution Routes Of Fmcg Product In Pt Abc With Multi-trip Vehicle Routing Problem And Time Window Using Branch And Bound Method To Minimize Travel Distance. *eProceedings of Engineering*, 5(2).
- Osaba, E., Osaba, E., Yang, X.-S., Yang, X.-S., Diaz, F., Diaz, F., . . . Perallos, A. (2017). A discrete firefly algorithm to solve a rich vehicle routing problem modelling a newspaper distribution system with recycling policy. *Soft Computing*, 21(18), 5295-5308. doi:10.1007/s00500-016-2114-1
- Parragh, S. N., & Schmid, V. (2013). Hybrid column generation and large neighborhood search for the dial-a-ride problem. *Computers & Operations Research*, 40(1), 490-497.
- Pillac, V., Gendreau, M., Guéret, C., & Medaglia, A. L. (2013). A review of dynamic vehicle routing problems. *European Journal of Operational Research*, 225(1), 1-11.
- Psaraftis, H. N., Wen, M., & Kontovas, C. A. (2016). Dynamic vehicle routing problems: Three decades and counting. *Networks*, 67(1), 3-31.
- Qu, Y., & Bard, J. F. (2015). A branch-and-price-and-cut algorithm for heterogeneous pickup and delivery problems with configurable vehicle capacity. *Transportation Science*, 49(2), 254-270.
- Rademeyer, A. L., & Lubinsky, D. (2017). A decision support system for strategic, tactical and operational visit planning for on-the-road personnel. *South African Journal of Industrial Engineering*, 28(1), 57-72.
- Ralphs, T. K., Kopman, L., Pulleyblank, W. R., & Trotter, L. E. (2003). On the capacitated vehicle routing problem. *Mathematical programming*, 94(2-3), 343-359.
- Rincon-Garcia, N., Waterson, B. J., & Cherrett, T. J. (2018). Requirements from Vehicle Routing Software: Perspectives from literature, developers and the freight industry. *Transport Reviews*, 38(1), 117-138.
- Ritzinger, U., Puchinger, J., & Hartl, R. F. (2016). A survey on dynamic and stochastic vehicle routing problems. *International Journal of Production Research*, 54(1), 215-231.
- . The Road to Route Planning. (2019, 18/06/2019). *inbound logistics*.
- 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(6), 1579-1589.
- Salhi, S., Imran, A., & Wassan, N. A. (2014). The multi-depot vehicle routing problem with heterogeneous vehicle fleet: Formulation and a variable neighborhood search implementation. *Computers & Operations Research*, 52, 315-325.
- Salter, W. (2015). Choosing a Route Planning System. *inbound logistics*. Retrieved from <https://www.inboundlogistics.com/cms/article/choosing-a-route-planning-system/>
- Schilde, M., Doerner, K. F., & Hartl, R. F. (2011). Metaheuristics for the dynamic stochastic dial-a-ride problem with expected return transports. *Computers & Operations Research*, 38(12), 1719-1730.
- Schwarze, S. (2016). Pricing strategies for the site-dependent vehicle routing problem. *OR spectrum*, 38(1), 137-173.
- Shamir, S. (2018, 16/08). Why Route Planning is Important For Your Business. *Supply Chain Management Review*.
- . Slimmer transport vraagt om beter gebruik van data. (2019, 30/09/2019). *LogistiekProfs*, 2019.

- Souza Neto, J. F. d., & Pureza, V. (2016). Modeling and solving a rich vehicle routing problem for the delivery of goods in urban areas. *Pesquisa Operacional*, 36(3), 421-446.
- Tasan, A. S., & Gen, M. (2012). A genetic algorithm based approach to vehicle routing problem with simultaneous pick-up and deliveries. *Computers & Industrial Engineering*, 62(3), 755-761.
- Tlili, T., Faiz, S., & Krichen, S. (2014). A hybrid metaheuristic for the distance-constrained capacitated vehicle routing problem. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 109, 779-783.
- Toth, P., & Vigo, D. (2014). *Vehicle routing: problems, methods, and applications*: SIAM.
- trans.INFO. (2019). Every fifth truck driver position in Europe is vacant. Soon, there could be twice as many. Retrieved from <https://trans.info/en/every-fifth-truck-driver-position-in-europe-is-vacant-soon-there-could-be-twice-as-many-131212>
- Urli, T., & Kilby, P. (2017). *Constraint-based fleet design optimisation for multi-compartment split-delivery rich vehicle routing*. Paper presented at the International Conference on Principles and Practice of Constraint Programming.
- VanderScheaghe, M. (2019). Een pakje hier, een pakje daar: speel het maar klaar. *Value Chain*. Retrieved from <https://www.valuechain.be/nl/nieuws/detail/6677/een-pakje-hier-een-pakje-daar-speel-het-maar-klaar>
- Vincent, F. Y., Jewpanya, P., & Redi, A. P. (2016). Open vehicle routing problem with cross-docking. *Computers & Industrial Engineering*, 94, 6-17.
- Wang, S., Lu, Z., Wei, L., Ji, G., & Yang, J. (2016). Fitness-scaling adaptive genetic algorithm with local search for solving the Multiple Depot Vehicle Routing Problem. *Simulation*, 92(7), 601-616.
- Wu, W., Tian, Y., & Jin, T. (2016). A label based ant colony algorithm for heterogeneous vehicle routing with mixed backhaul. *Applied Soft Computing*, 47, 224-234.
- Xu, Z., Elomri, A., Pokharel, S., & Mutlu, F. (2019). A model for capacitated green vehicle routing problem with the time-varying vehicle speed and soft time windows. *Computers & Industrial Engineering*, 137, 106011.
- Yang, S., Ning, L., Shang, P., & Tong, L. C. (2020). Augmented Lagrangian relaxation approach for logistics vehicle routing problem with mixed backhauls and time windows. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 135, 101891.
- Yusuf, I., Baba, M. S., & Iksan, N. (2014). Applied genetic algorithm for solving rich VRP. *Applied Artificial Intelligence*, 28(10), 957-991.
- Zhang, D., Cai, S., Ye, F., Si, Y.-W., & Nguyen, T. T. (2017). A hybrid algorithm for a vehicle routing problem with realistic constraints. *Information Sciences*, 394, 167-182.
- Zhu, W., Qin, H., Lim, A., & Wang, L. (2012). A two-stage tabu search algorithm with enhanced packing heuristics for the 3L-CVRP and M3L-CVRP. *Computers & Operations Research*, 39(9), 2178-2195.