



**UHASSELT**

KNOWLEDGE IN ACTION

## Faculteit Bedrijfseconomische Wetenschappen

master handelsingenieur

### **Masterthesis**

***Rendabiliteit van klanten in goederentransport: kostentoewijzing in rittenplanning***

#### **Kristien Kempeneers**

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

#### **PROMOTOR :**

Prof. dr. Kris BRAEKERS



**UHASSELT**

KNOWLEDGE IN ACTION

[www.uhasselt.be](http://www.uhasselt.be)

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

**2020**  
**2021**



# Faculteit Bedrijfseconomische Wetenschappen

master handelsingenieur

## ***Masterthesis***

### ***Rendabiliteit van klanten in goederentransport: kostentoewijzing in rittenplanning***

#### **Kristien Kempeneers**

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

#### **PROMOTOR :**

Prof. dr. Kris BRAEKERS



*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 Handelsingenieur in de afstudeerrichting Operationeel Management en Logistiek aan de Universiteit Hasselt. Ik voer een literatuurstudie en een empirische studie uit over de rendabiliteit van klanten in goederentransport: kostentoewijzing in rittenplanning. Met deze masterproef probeer ik enerzijds een beeld te schetsen over wat er reeds geweten is over de belangrijkste criteria en methodes bij de kostentoewijzing in rittenplanning aan de hand van bestaande literatuur. Anderzijds pas ik deze methodes toe op een fictieve dataset. Vervolgens ga ik bedrijven interviewen om zo belangrijke beleidsconclusies te formuleren.

Deze masterproef kon echter niet tot stand komen zonder de hulp, feedback en steun die ik van vele mensen heb gekregen. Via deze weg wil ik enkele mensen bedanken die er mede voor hebben gezorgd dat deze masterproef tot stand kon komen. In het bijzonder gaat mijn dank uit naar mijn promotor, prof. dr. Kris Braekers, voor de nodige begeleiding, ondersteuning en expertise tijdens het hele proces. Zijn hulp om mij op weg te helpen en zijn constructieve feedback heeft me in zeer grote mate geholpen om deze masterproef tot een goed eind te brengen. Daarnaast wil ik de bedrijven die tijd hebben gemaakt voor een interview bedanken. Ook wil ik mijn ouders, vrienden en familie bedanken om mij te steunen en te motiveren tijdens mijn volledige opleiding en in het bijzonder tijdens de periode dat ik aan deze masterproef heb gewerkt.

Dankzij de vijfjarige opleiding van Handelsingenieur, heb ik ook de nodige kennis en vaardigheden verworven om de totstandkoming van deze masterproef goed te realiseren. Daarom wil ik tot slot de UHasselt bedanken samen met de professoren en de assistenten voor het aanreiken van de nodige kennis.

Kristien Kempeneers

Januari, 2021



# Samenvatting

Een wereld zonder transport is haast niet meer weg te denken. Goederen zijn over de hele wereld voortdurend in beweging. Stilstand is verspilling van tijd en dit moet voorkomen worden door een efficiënte transportplanning. Vele invloeden van buitenaf toonden de laatste jaren de noodzaak aan van een efficiëntere transportsector. Denk maar onder meer aan de globalisering die ervoor heeft gezorgd dat de concurrentiedruk vanuit landen met lage productiekosten toeneemt en de opkomst van *e-commerce* met als gevolg de toegenomen verwachtingen van klanten om snel en op tijd te leveren. Om een efficiëntere transportsector te verkrijgen, is het combineren van diverse orders van klanten op éénzelfde voertuigroute een belangrijk middel. Zo zullen de kosten van transport en de impact op het milieu verminderen. Klanten gaan ritten uitbesteden aan een externe logistieke dienstverlener. Het is zijn taak om een zo efficiënt mogelijke rittenplanning op te stellen en vervolgens de kosten te alloceren aan de klanten.

Een logistieke dienstverlener wenst inzicht te hebben in de kosten die klanten/orders) met zich meebrengen. Deze informatie wordt gebruikt voor de analyse van de winstgevendheid en om toekomstige prijsonderhandelingen met de klanten te ondersteunen. De toewijzing van kosten aan specifieke klanten is echter niet altijd vanzelfsprekend bij goederentransport en zorgt voor de nodige uitdagingen voor de logistieke dienstverlener. Wanneer meerdere klanten in één enkele voertuigroute worden beleverd, moeten de kosten immers zo eerlijk mogelijk toegewezen worden aan de verschillende klanten. Dit wordt nog complexer wanneer tijdsvensters en volumes worden geïntegreerd. Dit zijn namelijk aspecten die de gevolgde route kunnen beïnvloeden.

In het eerste hoofdstuk van deze masterproef wordt de probleemstelling beschreven en wordt vervolgens een uiteenzetting gegeven van de centrale onderzoeksvraag en de verschillende deelvragen. De centrale onderzoeksvraag luidt als volgt: *'Hoe worden de kosten toegewezen over de verschillende klanten op dezelfde route en welke criteria spelen hierbij een rol?'*. Tot slot wordt de onderzoeksaanpak toegelicht die in deze masterproef wordt gehanteerd.

In het tweede hoofdstuk wordt een overzicht gegeven van bestaande literatuur met betrekking tot het verkrijgen van een efficiënte rittenplanning. Eerst wordt het bekende *vehicle routing problem* (VRP) besproken. Het VRP heeft eenvoudig gesteld als doel om een reeks voertuigroutes te bepalen die voldoen aan klanten die geografisch verspreid liggen en de totale kosten hieraan verbonden te minimaliseren. Er bestaan verschillende varianten op het traditionele VRP. Een veelvoorkomende variant is het *vehicle routing problem with time windows* (VRPTW). Bij het VRPTW gaan klanten tijdsvensters opleggen waartussen een logistieke dienstverlener zijn vracht mag lossen en/of laden. Naast de bespreking van de verschillende problemen, worden ook verschillende oplossingsmethodes van een VRP besproken.

Nadat een efficiënte rittenplanning wordt gevonden, staat de logistieke dienstverlener voor de uitdaging om de kosten op een zo eerlijk mogelijke manier over de verschillende klanten te alloceren. In hoofdstuk 3 wordt onderzocht wat de meest gebruikte, bestaande kwantitatieve kostenallocatiemethodes zijn. Het eerlijk alloceren van kosten is voor de logistieke dienstverlener een grote uitdaging omdat de gerealiseerde voordelen bij het opstellen van een gezamenlijke



rittenplanning dikwijls voordelen zijn op het niveau van de coalitie, maar elke individuele klant, elk individueel bedrijf zal kijken naar welk voor- of nadeel hij of zij hier zelf uit haalt. Daarom is het voornamelijk dat een logistieke dienstverlener een eerlijke kostenallocatie vooropstelt. De methodes die aan bod komen, zijn: proportionele toewijzing op basis van het aantal klanten, proportionele toewijzing op basis van de *stand-alone* kost, Shapley, nucleolus, *equal profit method*, *equal charge method*, *alternative cost avoided method* en *cost gap method*. Op de vraag welke methode hiervan het beste is, is geen eenduidig antwoord te formuleren aangezien er niet zoiets bestaat als een beste methode. Vandaar zijn er criteria in het leven geroepen. Dit zijn eigenschappen van kostenallocatiemethodes. Het is aan de gebruiker om te bepalen welke criteria hij of zij als belangrijk ervaart. Criteria die beproven worden, zijn: efficiëntie, symmetrie, additiviteit, dummy, monotone kostenfunctie, cross-monotoniciteit, subadditiviteit, convexiteit, individuele rationaliteit, subgroep rationaliteit en stabiliteit. Daarna wordt nagegaan welke criteria van toepassing zijn bij welke kostenallocatiemethode. Zo wordt op het einde van de literatuurstudie een samenvattend overzicht gegeven van de verscheidene kostenallocatiemethodes en de criteria waaraan de kostenallocatiemethodes voldoen.

Na de theoretische studie van de verschillende kostenallocatiemethodes door middel van literatuuronderzoek, wordt er gestart met een empirisch onderzoek in hoofdstuk 4. In het eerste deel van de empirische studie wordt dieper ingegaan op de praktische toepassing van 8 kostenallocatiemethodes. Deze methodes worden toegepast op een fictieve dataset. Er wordt gezocht naar patronen, gelijkenissen en/of verschillen tussen de bestaande kostenallocatiemethodes. In het tweede deel van de empirische studie wordt gefocust op aspecten die de gevolgde route kunnen beïnvloeden zoals het invoeren van tijdsvensters door klanten en het volume. Eerst wordt onderzocht welk effect het invoeren van tijdsvensters en volumes heeft op de rittenplanning. Vervolgens wordt nagegaan hoe bestaande kostenallocatiemethodes, die bestudeerd zijn in de literatuurstudie, hiermee omgaan. Er wordt onderzoek gedaan of er rekening gehouden wordt met tijdsvensters en volumes in de kostenallocatiemethodes en hoe. Tot slot worden nieuwe intuïtieve methodes uitgewerkt die trachten kostenallocatiemethodes aan te passen om beter om te gaan met tijdsvensters en volumes.

In hoofdstuk 5 wordt onderzocht hoe logistieke dienstverleners de kosten op een zo eerlijk mogelijke manier in de realiteit gaan alloceren wanneer er rekening wordt gehouden met tijdsvensters en volumes. Door een gebrek aan onderzoek over het integreren van tijdsvensters en volumes in kostenallocatiemethodes worden 2 intuïtieve methodes uitgewerkt. Om de intuïtieve methodes uit de empirische studie zo realistisch mogelijk te benaderen, is er beroep gedaan op hoe bedrijven er in de realiteit mee omgaan. Er zijn 2 bedrijven die hun inzichten hebben gedeeld aan de hand van een interview. Bedrijven ervaren het alloceren van kosten als een grote uitdaging. Zo blijkt dat in de praktijk niet alles even goed te voorspellen is. Er kunnen onverwachte inefficiënties optreden. Hier trachten ze rekening mee te houden, maar toch zal er de ene keer een onderschatting van de kost zijn en de andere keer een overschatting. Het inschatten van een kost om een eerlijke prijs te bepalen blijft dus vaak een geëduceerde gok die door de logistieke dienstverlener moet worden gemaakt. Een prijs, gebaseerd op de kosten, wordt indien nodig aangepast wanneer er een post factum analyse heeft plaatsgevonden met de werkelijke versus initiële inschattingen. Op deze manier wordt ervaring

opgedaan en worden de kosten telkens aangepast om zo uiteindelijk tot een betere kostenallocatiemethode te komen.

Het laatste hoofdstuk bevat de conclusies van de masterproef en enkele aanbevelingen voor toekomstig onderzoek. Enkele voornamelijk conclusies worden hier samengevat. De bestaande kostenallocatiemethodes vormen een goede basis om kosten te alloceren. Enkel bij de proportionele toewijzing op basis van het aantal klanten en de ECM realiseren klanten soms een negatieve kostenbesparing. Daarnaast zou verwacht worden dat de EPM een toewijzing zou opleveren waarbij iedere klant zijn relatieve kostenbesparing gelijk is. In de onderzochte datasets was vaak te vinden dat dit niet het geval is. Voornamelijk wanneer er een klant is op de rit die ervoor zorgt dat er een grote omweg gemaakt moet worden. Tot slot wordt gevonden dat ondanks tal van methodes geen garantie bieden op stabiliteit, er toch veel allocatiemethodes een resultaat geven waarvan de allocaties in de *core* liggen en dus stabiel zijn. In het tweede deel van de empirische studie wordt geconcludeerd dat de methodes geen rekening houden met aspecten die de gevolgde route kunnen beïnvloeden zoals tijdsvensters en volumes. De extra afstand die wordt afgelegd door tijdsvensters en volumes toe te voegen wordt bij bestaande kostenallocatiemethodes herverdeeld, maar dit lijkt op een oneerlijke manier te gebeuren. Bij tijdsvensters worden flexibele klanten niet het meest beloond en worden wachttijden en inefficiënties die tijdsvensters veroorzaken niet opgenomen. Bij volumes worden klanten die een groter volume innemen in verhouding geen grotere kost aangerekend. Daarom is het noodzakelijk dat bestaande kostenallocatiemethodes aangepast worden.



# Inhoudsopgave

1	Inleiding .....	1
1.1	Probleemstelling .....	1
1.2	Centrale onderzoeksvraag en deelvragen .....	3
1.2.1	Centrale onderzoeksvraag .....	3
1.2.2	Deelvragen .....	3
1.3	Onderzoeksaanpak .....	4
2	Rittenplanning .....	7
2.1	<i>Vehicle routing problem</i> (VRP) .....	8
2.1.1	<i>Vehicle routing problem</i> met tijdvensterbeperkingen .....	10
2.2	Oplossingsmethodes .....	11
2.2.1	Exacte algoritmes .....	12
2.2.2	Heuristieken .....	12
2.2.3	Metaheuristieken .....	13
3	Kostenallocatie: criteria en methodes .....	15
3.1	Notatie .....	15
3.2	Criteria .....	16
3.2.1	Criteria van kostenallocatiemethodes .....	16
3.2.2	Criteria van kostenspel .....	18
3.2.3	Core van kostenspel .....	19
3.3	Kostenallocatiemethodes .....	22
3.3.1	Proportionele toewijzing methode .....	22
3.3.2	Methodes o.b.v. coöperatieve speltheorie .....	23
3.3.3	Methodes o.b.v. specifieke samenwerkingseigenschappen .....	27
3.4	Overzicht .....	33
4	Empirische studie .....	35
4.1	Onderzoeksopzet .....	35
4.2	Dataset .....	36
4.3	Rittenplanning .....	37
4.4	Kostenallocatiemethodes .....	38
4.5	Kostenallocatiemethodes met tijdsvensters .....	48
4.5.1	Rittenplanning .....	49

4.5.2	Bestaande kostenallocatiemethodes .....	51
4.5.3	Nieuwe intuïtieve kostenallocatiemethode .....	53
4.6	Kostenallocatiemethodes met volumes .....	58
4.6.1	Rittenplanning .....	58
4.6.2	Bestaande kostenallocatiemethodes .....	58
4.6.3	Nieuwe intuïtieve kostenallocatiemethode .....	61
5	Toetsing aan de realiteit .....	69
6	Conclusie en toekomstig onderzoek .....	71
6.1	Conclusie.....	71
6.2	Toekomstig onderzoek.....	73
7	Bijlagen.....	75
8	Referenties .....	83

# 1 Inleiding

## 1.1 Probleemstelling

Transport is niet meer weg te denken in de huidige maatschappij. Dankzij globalisering en de evolutie van de informatietechnologie heeft er een aanzienlijke ontwikkeling plaatsgevonden op vlak van logistiek. Hierdoor is het belang van transportlogistiek rechtstreeks vergroot (Jurčević, Mandžuka, & Bubalo, 2018). Globalisering zorgde ervoor dat talloze bedrijven hun *supply chain* internationaal zijn gaan benaderen. Dit omdat ze goedkoper kunnen importeren en zo kostenbesparingen kunnen realiseren. Door de verandering van de wereldwijde economie, is er een wereldwijde concurrentie ontstaan die gepaard gaat met een hoge kostendruk. Er kan dan wel goedkoper worden ingekocht, maar het impliceert ook een hogere logistieke kost. Bedrijven staan hierdoor voor verschillende uitdagingen (Bygballe, Bø, & Grønland, 2012). De belangstelling voor de transportsector nam tevens toe dankzij diverse ontwikkelingen zoals de opkomst van de *e-commerce*. *E-commerce* zorgde voor een toenemende druk om de levertermijn zo kort mogelijk te houden en het streven van bedrijven om leveringen met hoge kwaliteit te garanderen (Sun, Rangarajan, Karwan, & Pinto, 2015).

De toegenomen concurrentiedruk vanuit landen met lage productiekosten, de opkomst van de *e-commerce* en de hoge verwachtingen van klanten tonen aan dat het noodzakelijk is geworden om de transportsector efficiënter te maken. De financiële crisis van 2008, de stijgende brandstofprijzen en het verminderen van broeikasgasemissies van de sector opgelegd door de overheid versterken de noodzaak aan efficiëntieverhoging (Audy, D'Amours, & Rousseau, 2017; Verdonck, Caris, Ramaekers, & Janssens, 2013). Zo blijkt immers dat de gehele transportservice goed is voor meer dan 50 % van de totale logistieke kosten. Dit is een aanzienlijk hoog percentage. Heel wat bedrijven streven er dus naar om deze transportkosten te verlagen (Sun et al., 2015). Bedrijven zijn zich hierdoor anders gaan organiseren. Ze trachten de efficiëntie te verbeteren door procesoptimalisatie en nieuwe technologieën te introduceren. Om te overleven in de toenemende druk om steeds efficiënter te opereren, zijn bedrijven de kosten van niet-waarde toevoegende activiteiten zoals distributie gaan verminderen. Dit door orders te gaan combineren in een route om zo kostenbesparingen te realiseren (Cruijssen, Bräysy, Dullaert, Fleuren, & Salomon, 2007; Verdonck et al., 2013).

Om de kosten van transport en de impact op het milieu te verminderen, is het combineren van diverse orders van klanten op éénzelfde route een belangrijk middel. Klanten besteden daarom ritten uit aan een externe dienstverlener. Het is zijn taak om een zo efficiënt mogelijke rittenplanning op te stellen. Dit is allesbehalve een triviale taak (Sun et al., 2015). De snelheid van leveren en het verzekeren van kwaliteit maken dit nog complexer. Vervolgens staat de logistieke dienstverlener voor de uitdaging om de bijhorende kosten zo eerlijk mogelijk te alloceren aan de verschillende klanten (Audy et al., 2017).

Doordat een logistieke dienstverlener de zendingen combineert, leidt dit tot tal van verschillende milieu- en sociale voordelen (Lu & Quadrifoglio, 2019). Het kan bijvoorbeeld zorgen voor een betere

dienstverlening, daling van het aantal ritten, een vermindering van congestie, een hogere beladingsgraad per vracht, een vermindering van lege vrachten, de vermindering van kosten zoals de *inventory-in-transit* kosten en een serieuze reductie in CO<sub>2</sub>-emissie (Crujssen, 2012; Vanovermeire & Sörensen, 2014).

Ondanks tal van voordelen en toegenomen mogelijkheden voor logistieke optimalisatie, is het gelijktijdig vervoeren van leveringen, ook wel ordersynchronisatie genoemd, niet kosteloos. Meer in het bijzonder zullen flexibele klanten, die toelaten dat hun bestellingen op een ander moment worden afgeleverd dan hun voorkeursmoment, een kost maken. Deze kosten kunnen worden veroorzaakt door hogere voorraden, verminderde klanttevredenheid of een aantal andere factoren. Een belangrijk probleem is dat, hoewel de voordelen van ordersynchronisatie zich voordoen op het niveau van de coalitie, het de individuele klanten zijn die de kosten moeten maken van het vertragen of versnellen van hun orders (Vanovermeire & Sörensen, 2014).

Een optimale rittenplanning is vaak onderworpen aan het idee dat de gezamenlijke transportkost zo laag mogelijk is en dat elke individuele klant het eens is met de kost die wordt toegerekend door de logistieke dienstverlener. Wanneer een logistieke dienstverlener de kosten alloceert, zijn de diverse klanten niet op de hoogte van de kosten die aan iedere klant wordt toegewezen. Echter zal de individuele klant wel toezien dat de kosten niet te hoog oplopen. Wanneer dit toch het geval is, kan dit ertoe leiden dat na verloop van tijd de klant een andere logistieke dienstverlener benaderd. Dit tracht de dienstverlener te voorkomen. Daarom is het van cruciaal belang dat een eerlijke kostentoe wijzing voorop staat zodat een duurzame rittenplanning wordt bereikt (Lu & Quadrifoglio, 2019). De voordelen van een ordersynchronisatie moeten worden verdeeld onder de klanten op een manier die als rechtvaardig wordt beschouwd. Dat wil zeggen dat het flexibele bedrijf het meest wordt beloond (Vanovermeire & Sörensen, 2014).

Niet alleen klanten en logistieke dienstverleners hebben aandacht voor een duurzame rittenplanning. Ook beleidsmakers op zowel Europees als regionaal niveau wijzen erop dat intermodale transportketens moeten worden gestimuleerd (Ramaekers, Verdonck, Caris, Meers, & Macharis, 2016). Zo is er sinds 31/08/2014 het CO<sup>3</sup>-project of met andere woorden het *Collaboration Concepts for Co-modality* project dat wordt ondersteund door de Europese Unie. Het doel van het project is om een concrete bijdrage te leveren aan het verhogen van de belading van de vracht, het verminderen van lege vrachten en het stimuleren van comodaliteit. Om dit te realiseren, zet het CO<sup>3</sup>-project in op een neutrale partij die betrokken wordt om de logistieke dienst uit te voeren (Crujssen, 2012).

Het combineren van verschillende leveringen in één route met verschillende klanten is een efficiënte en effectieve manier om logistieke operaties te verbeteren (Guajardo & Rönnqvist, 2016). Hoewel het delen van transport dus heel wat voordelen biedt, is toch elk bedrijf bezig met eigen belang (Sun et al., 2015). Al snel roept dit de vraag op hoe zo een efficiënt mogelijke rittenplanning wordt gemaakt. Dit is een belangrijke vraag die getracht beantwoord te worden in deze masterproef.

Na het vinden van een efficiënte rittenplanning rijst de vraag hoe de gezamenlijke transportkosten verdeeld moeten worden over de verschillende klanten op dezelfde route (Sun et al., 2015). Het basisidee is immers dat door een rittenplanning van meerdere klanten samen er een gezamenlijke

kost wordt veroorzaakt. Er wordt getracht deze kost toe te wijzen aan de afzonderlijke klanten waarbij eerlijkheid voorop staat. Maar wat is dan de beste kostenallocatiemethode? In deze masterproef zullen verschillende kostenallocatiemethodes in kaart worden gebracht.

Bij het alloceren van kosten aan verschillende klanten, worden verschillende criteria gebruikt. Deze criteria zijn eigenschappen waaraan een kostenallocatiemethode al dan niet voldoet. Zo is er bijvoorbeeld een criterium dat stelt dat het voordeliger moet zijn voor de klant om hem in een gezamenlijke rittenplanning op te nemen dan de afzonderlijke rit van die klant (Frisk, Göthe-Lundgren, Jörnsten, & Rönnqvist, 2010). Elke kostenallocatiemethode zal aan enkele criteria voldoen. De verschillende criteria worden besproken en vervolgens wordt gekeken welk criterium van toepassing is bij welke kostenallocatiemethode.

Tot slot zullen er in het empirische gedeelte van deze masterproef verschillende kostenallocatiemethodes onder de loep worden genomen. De methodes worden toegepast op een fictieve dataset en worden dan vergeleken met elkaar. Naast de analyse van deze methodes, wordt er gefocust op het toevoegen van tijdsvensters en volumes door de klanten. Dit zijn aspecten die namelijk de gevolgde route kunnen beïnvloeden. Er wordt onderzocht hoe zowel tijdsvensters als volumes een invloed hebben op de kostenallocatie.

## 1.2 Centrale onderzoeksvraag en deelvragen

### 1.2.1 Centrale onderzoeksvraag

De vraag waarop getracht wordt een antwoord te vinden door het uitvoeren van deze masterproef is de volgende:

***'Hoe worden de kosten toegewezen over de verschillende klanten op dezelfde route en welke criteria spelen hierbij een rol?'***

### 1.2.2 Deelvragen

Om deze centrale onderzoeksvraag te beantwoorden worden enkele deelvragen geformuleerd. Eerst wordt aan de hand van een literatuurstudie een beeld geschetst van de belangrijkste methodes en de bijhorende criteria. De eerste deelvraag wordt als volgt gedefinieerd: *'Hoe wordt een efficiënte rittenplanning gevonden?'*. Vervolgens wordt een antwoord gezocht op de volgende deelvraag: *'Wat zijn de meest gebruikte, bestaande kwantitatieve kostenallocatiemethodes?'*. Daarna wordt de vraag gesteld: *'Welke criteria worden het meest gebruikt en zijn van toepassing bij welke kostenallocatiemethode?'*.

Vervolgens wordt een empirische studie uitgevoerd, waarbij enkele deelvragen worden opgesteld. Een eerste deelvraag is: *'Welk patronen, gelijkenissen en/of verschillen worden er gevonden tussen de bestaande kostenallocatiemethodes?'*. Een andere deelvraag waarop wordt gefocust, is: *'Hoe kunnen de bestaande kostenallocatiemethodes aangepast worden om beter om te gaan met de tijdsvensters en volumes?'*.



In het laatste deel van deze masterproef wordt onderzocht hoe het nu in werkelijkheid verloopt. Een eerste vraag is: 'Worden er kostenallocatiemethodes toegepast en zo ja welke?'. Een tweede vraag: 'Hoe wordt er rekening gehouden met tijdsvensters en volumes bij de kostenallocatiemethodes?'. Tot slot wordt er gekeken naar: 'Komt de theorie overeen met de werkelijkheid?'.

## 1.3 Onderzoeksaanpak

De centrale onderzoeksvraag met de bijhorende deelvragen zullen beantwoord worden door middel van een grondig uitgevoerde literatuurstudie gevolgd door een empirische studie. Hiervoor zal een stappenplan gehanteerd worden.

De eerste stap bestaat uit het doorzoeken van elektronische databases zoals *UHasselt discovery* en *Google scholar*. Vervolgens wordt elke paper kritisch en grondig doorgenomen aan de hand van de titel, het abstract, de inleiding en het slot.

De gebruikte zoektermen zijn:

- *Cost allocation*
- *Transportation*
- *Route optimization*
- *Cost allocation methods*
- *Collaborative logistics*
- *Route scheduling*
- *Joint routing*
- *Transport*
- *CO<sup>3</sup>-project*
- *Vehicle route problem*
- *Pricing*
- *Customer cost*

Na stap 1 kan er gericht gezocht worden door middel van concretere zoektermen die het thema betreffen. De relevante papers worden geselecteerd op basis van titel, abstract, inleiding en slot. De verschillende papers worden bij elkaar gelegd en vergeleken.

Vervolgens worden in stap 3 de geselecteerde papers kritisch en grondig gelezen en wordt er gekeken of deze wel effectief een antwoord bieden op de centrale onderzoeksvraag en de deelvragen.

Daarna, in stap 4 worden de papers kritisch besproken en gestructureerd. De verschillende papers worden gecombineerd zodat het per deelvraag een vlot geheel vormt.

In stap 5 wordt een fictieve dataset geanalyseerd aan de hand van verschillende methodes uit de literatuurstudie. Uit deze analyse worden patronen, gelijkenissen en/of verschillen gevonden tussen de diverse kostenmodellen. Daarnaast wordt een analyse uitgevoerd waarbij tijdsvensters en volumes worden geïntegreerd in een rittenplanning.

Tot slot wordt er in stap 6 gekeken naar hoe bedrijven de kostentoewijzing in rittenplanning in de realiteit toepassen. Bij 2 logistieke bedrijven wordt gekeken hoe dit wordt gedaan en of er een model wordt gebruikt dat reeds is gevonden in de literatuurstudie. Eveneens wordt bevraagd hoe deze 2 bedrijven omgaan met tijdsvensters en volumes bij kostenallocatie. Hieruit worden uiteindelijk de belangrijkste conclusies getrokken.



## 2 Rittenplanning

Logistieke dienstverleners wensen inzicht te hebben in de kosten die met klantenorders gepaard gaan. Dit opdat goede prijsonderhandelingen met deze klanten gevoerd kunnen worden. Echter is de allocatie van kosten aan klanten niet eenvoudig. In 1 route worden dikwijls meerdere klanten beleverd en bijgevolg dient de kost dan ook eerlijk verdeeld te worden over de diverse klanten. Vooraleer de kosten toegewezen kunnen worden, berust de logistieke dienstverlener eerst de taak om een efficiënte rittenplanning op te stellen waarbij alle klanten beleverd worden. Dit is de focus van het eerste hoofdstuk van de literatuurstudie.

De gehele transportservice is goed voor meer dan 50 % van de totale logistieke kosten. Transport vormt dus een voorname activiteit binnen de logistieke sector. Een goed ontwikkeld transportsysteem is noodzakelijk om de producten op de juiste locatie te krijgen en op het juiste moment (Sun et al., 2015). Om een transportsysteem met een efficiënte rittenplanning te realiseren, maken logistieke dienstverleners gebruik van rittenplanningsproblemen. Hier worden rittenplanningen opgesteld met bijhorende beperkingen. Er wordt dan getracht een optimale route te vinden die voldoet aan enkele beperkingen (Weise, Podlich, & Gorltd, 2009).

Logistieke bedrijven gaan bij het opstellen van zo een rittenplanning orders combineren van verschillende klanten en deze vervolgens vervoeren naar de klanten. Wanneer orders van diverse klanten worden gecombineerd, gebeurt dit via een gezamenlijke rittenplanning (Cruijssen and Salomon, 2004). Een gezamenlijke rittenplanning is een maatregel die bedrijven kunnen nemen om zo de kosten te laten dalen van hun distributieactiviteiten (Cruijssen et al., 2007). Bij de gezamenlijke rittenplanning wordt vertrokken vanuit het idee dat verschillende klantenorders verzameld worden in een centraal depot van een logistieke dienstverlener die dan de orders zal verdelen en leveren volgens een efficiënte rittenplanning (Cruijssen and Salomon, 2004).

Om te bepalen of een gezamenlijke rittenplanning voordeliger is, wordt het begrip synergiewaarde aangekaart. Hiermee wordt het verschil bedoeld tussen de distributiekosten wanneer alle klanten hun orders individueel vervoeren en de distributiekosten van een systeem waarin alle orders verzameld worden en rittenplanningen worden opgesteld. Dus geldt hoe groter de synergiewaarde, hoe voordeliger voor de klant om aan de gezamenlijke rittenplanning deel te nemen. Op die manier worden schaalvoordelen benut zoals het vermijden van lege vrachten, aantal benodigde voertuigen en de reisafstand die verminderd wordt. Het doel van het uitbesteden van transport aan een logistieke dienstverlener is dan ook om schaalvoordelen te behalen die de distributiekosten helpen verlagen. Na onderzoek blijkt dat een gezamenlijke rittenplanning het meest voordelig is wanneer er veel klanten zijn van uniforme en niet te grote omvang. Tevens zal de synergiewaarde stijgen wanneer de ordergrootte klein is, de tijdvensters niet te smal of te breed zijn en de afstanden tussen de verschillende klanten groot zijn. Ook wordt gevonden dat de variatie in ordergroottes geen belangrijke rol speelt (Cruijssen et al., 2007).

Om een gezamenlijke rittenplanning op te stellen, worden alle verzoeken van klanten gebundeld bij een logistieke dienstverlener en zullen zij vervolgens de taak krijgen om een passend *vehicle routing problem* te formuleren (Verdonck et al., 2013). Dit wordt dan ook in de eerste sectie besproken

samen met het rittenplanningsprobleem met capaciteitsbeperkingen. Nadien wordt ingegaan op de meest voorkomende variant: het rittenplanningsprobleem met tijdvensters. Tot slot worden verschillende oplossingsmethodes voor rittenplanning besproken.

## 2.1 *Vehicle routing problem* (VRP)

Het *vehicle routing problem* (VRP) wordt elke dag door duizenden bedrijven gebruikt die zich bezighouden met het verzamelen en leveren van goederen. Sinds de publicatie van het eerste artikel "*truck dispatching*" van Dantzig en Ramser (1959), is er heel wat vooruitgang geboekt omtrent het onderwerp. Zo bestaan er ondertussen verschillende varianten op het traditionele VRP. Niet alleen zijn er nu veel meer varianten, ook het aantal exacte algoritmes, heuristieken en metaheuristieken zijn sterk uitgebreid (Cordeau, Laporte, Savelsbergh, & Vigo, 2007; Dantzig & Ramser, 1959).

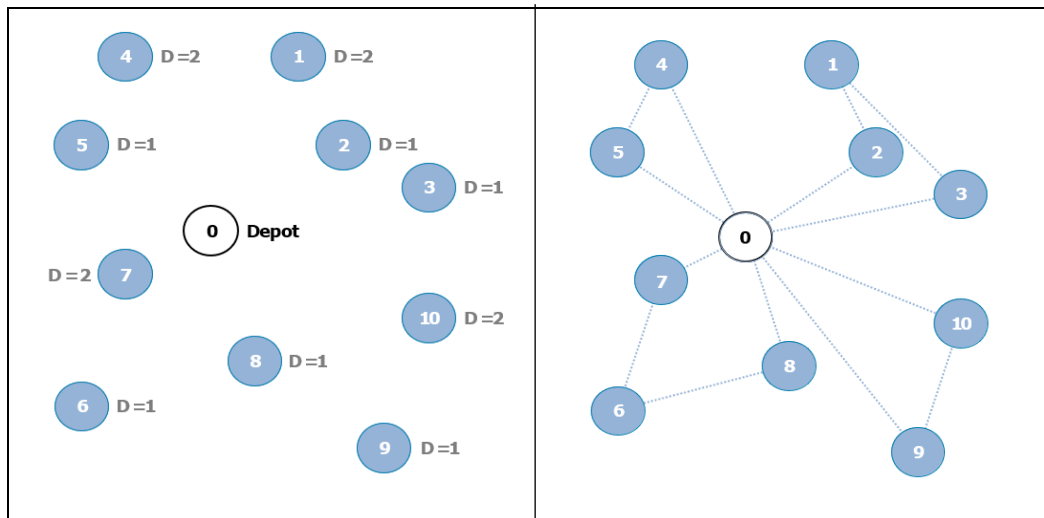
VRP is één van de bekendste optimalisatieproblemen. Er wordt gekeken naar een transportnetwerk met meerdere klanten die bezocht dienen te worden en meerdere voertuigen die, vertrekkende vanuit een depot, deze klanten moeten beleveren. Eenvoudig gesteld is het doel van dit probleem om een reeks voertuigroutes te bepalen die voldoen aan klanten die geografisch verspreid liggen en de totale kosten hieraan verbonden te minimaliseren (Weise et al., 2009).

VRP wordt gedefinieerd als een netwerk  $G = (V, E)$  met een knooppunten verzameling  $V = \{0, 1, \dots, n\}$  en een verzameling  $E$ . Netwerk  $G$  bevat met andere woorden *vertices* (verzameling  $V$ ) en *edges* (verzameling  $E$ ). Verzameling  $V$  is het depot knooppunt 0 en  $n$  klanten knooppunten die gaan van 1 tot en met  $n$  die een afleverlocatie voorstellen. Het depot heeft identieke voertuigen met elk een capaciteit  $Q$ . Elk klantknooppunt heeft een positieve vraag  $q_i$ . De reisafstand is gekend door  $d_{ij}$  voor elke *edge*  $(i, j) \in E$ . De *edge* stelt de afstand voor tussen de knooppunten waarbij de afstand symmetrisch is:  $d_{ij} = d_{ji}$ . Dit houdt in dat het niet uitmaakt in welke richting de verplaatsing plaats vindt, de afstand blijft identiek. Zoals eerder gesteld, is het doel om een aantal routes te bepalen met een totale minimale kost waarbij wordt voldaan aan enkele voorwaarden (Prins, 2004):

- Elke route start en eindigt in het depot.
- Elke klant wordt exact 1 keer bezocht.
- De totale vraag die door een voertuig wordt beleverd mag niet groter zijn dan capaciteit  $Q$ .

Wanneer er aan deze laatste voorwaarde is voldaan, geldt er een capaciteitsbeperking en wordt het basismodel van de klassieke rittenplanning het *capacitated vehicle routing problem* (CVRP) genoemd. Dit probleem veronderstelt dat er enkel capaciteitsbeperkingen zijn (Cordeau et al., 2007). Elke klant heeft hier een positieve vraag en voertuigen hebben hier een beperkte capaciteit (Pillac, Gendreau, Guéret, & Medaglia, 2013). Nog 2 andere veelvoorkomende beperkingen zijn: tijdsbeperking en tijdvensterbeperking. Bij een tijdsbeperking mag de totale duur van een route een vooraf ingestelde grens niet overschrijden. Dit kan bijvoorbeeld te maken hebben met de rij- en rusttijden van de chauffeurs of voertuigen die onderhouden moeten worden. Bij een tijdvensterbeperking mag de klant enkel beleverd worden tussen een bepaald tijdsinterval. Dit wordt nog uitvoerig besproken in sectie 2.1.1. (Laporte & Osman, 1995).

In figuur 1 is een schematische voorstelling van het VRP te zien. Links wordt het toewijzingsprobleem getoond. Het depot wordt voorgesteld met knooppunt 0 en de knooppunten 1 tot en met 10 zijn de verschillende klanten. Ook is de afstand  $D$  weergegeven van het depot tot aan het klantknooppunt. Rechts is een voorbeeld van een uitgestippelde rittenplanning uitgewerkt waarbij verschillende klanten aan een bepaalde rit worden toegewezen. Zo zal bijvoorbeeld klant 1, 2 en 3 samen in 1 rit worden uitgevoerd.



Figuur 1: schematische weergave VRP.

In de literatuur wordt VRP vaak besproken samen met het *traveling salesman problem* (TSP). VRP is algemener en complexer dan TSP. TSP houdt slechts rekening met 1 voertuig. Er wordt dan voor dat bepaald voertuig de optimale volgorde van klanten gevonden. Bij VRP daarentegen zal eerst gezocht worden naar welk voertuig welke klant zal bedienen en vervolgens zal voor dat voertuig een optimale volgorde van klanten gevonden worden. In deze masterproef wordt gefocust op het VRP omdat er bij een logistieke dienstverlener sprake is van meerdere voertuigen in een grote geografische omgeving (Potvin, 2009).

In theorie wordt dikwijls vertrokken vanuit modellen met een statisch probleem. Dit is wanneer alle klantaanvragen op voorhand gekend zijn. Echter, brengt een statische rittenplanning geen veranderingen over de tijd mee in rekening. In de realiteit zijn vaak niet alle variabelen gekend. Wanneer niet alle klantaanvragen op voorhand gekend zijn, wordt gesproken van een dynamisch probleem. De klantverzoeken komen dan binnen gedurende de uitvoering van een bestaande rittenplanning (Pillac et al., 2013).

Echter bestaan er heel wat varianten op het VRP die verschillende beperkingen toevoegen aan de oorspronkelijke definitie van het VRP. In tabel 1 wordt een overzicht gegeven van enkele veelvoorkomende varianten (Weise et al., 2009).

**TABEL 1: VEELVOORKOMENDE VARIANTEN VRP**

CVRP	<i>Capacitated VRP</i> VRP bevat bijkomende beperkingen dat elke voertuig dezelfde capaciteit moet hebben.
DVRP	<i>Distance-constrained VRP</i> VRP met een aanvullende beperking omtrent een maximale totale afstand die door elk voertuig wordt afgelegd.
MDVRP	<i>Multiple Depot VRP</i> VRP die meerdere depots bevat waaruit klanten kunnen worden beleverd.
PVRP	<i>Periodic VRP</i> VRP waarbij er een planningsperiode wordt verlengd tot een bepaald aantal dagen en klanten meerdere keren met bulkgoederen beleverd moeten worden.
VRPB	<i>VRP with backhauls</i> VRP waarbij klanten bepaalde goederen kunnen retourneren.
VRPPD	<i>VRP with pick-up &amp; delivering</i> VRP waarbij de klant zowel goederen kan ontvangen als retourneren naar de logistieke dienstverlener.
VRPTW	<i>VRP with time windows</i> VRP waar er tijdsvensters worden gedefinieerd waarin klanten beleverd moeten worden.

Deze varianten worden niet uitvoerig besproken. Enkel het VRP met tijdsvensterbeperkingen wordt kort in de volgende sectie toegelicht.

### 2.1.1 *Vehicle routing problem* met tijdsvensterbeperkingen

Een belangrijk kenmerk bij een VRP is het tijdsaspect, dat definieert op welk moment de logistieke dienstverlener mag aankomen op de locatie van de klant. Steeds meer klanten stellen dan ook beperkingen aan de tijden waarop u ze als logistiek dienstverlener kunt beleveren. Klanten gaan tijdsafspraken maken zodat de komst van de levering ingepland kan worden.

Er bestaan verschillende mogelijkheden. Er kan een bovengrens afgesproken worden tot wanneer de logistieke dienstverlener mag arriveren. De logistieke dienstverlener mag dan vroeger aankomen, maar niet na een afgesproken uur (deadline). Dit wordt het *vehicle routing problem with time deadlines* (VRPTD) genoemd. Een tweede en meer toegepaste methode is het *vehicle routing problem with time windows* (VRPTW). Een logistieke dienstverlener moet nu arriveren binnen een bepaald tijdsinterval. Met andere woorden een logistieke dienstverlener mag niet meer op eender welk moment arriveren, maar dit moet binnen een bepaald tijdsvenster gebeuren. De klant bepaalt het tijdsvenster en dit wordt vervolgens overeengekomen met de logistieke dienstverlener. Het probleem

leunt sterk aan bij het rittenplanningsprobleem met capaciteitsbeperkingen (CVRP). Alle beperkingen van het CVRP gelden nog steeds. Enkel met het verschil dat naast het afstandscomponent nu ook rekening gehouden wordt met het tijdscomponent (Potvin, 2009).

In de literatuur wordt een onderscheid gemaakt tussen *hard* en *soft time windows*. Er wordt gesproken van een *hard time window* wanneer er wordt geleverd buiten het tijdsvenster en dit niet als aanvaardbaar wordt beschouwd. Een realistischere benadering wordt gevonden met *soft time windows*. Hier bestaat wel de mogelijkheid om buiten het tijdsvenster van de klant te leveren en is dus met andere woorden een vroegere of latere levering toegestaan. Wanneer een levering wordt afgeleverd op een ander moment dan tussen het gekozen tijdsinterval, worden hier extra kosten in rekening gebracht als een soort boete. Hoe verder weg de bestelling zal worden afgeleverd van het gekozen bezorgmoment, hoe hoger deze boete zal oplopen (Vanovermeire & Sörensen, 2014).

Het gebruik van tijdsvensters is gekend bij zowel B2C als B2B. Door de toenemende populariteit van e-commerce zijn er heel wat uitdagingen ontstaan voor de transportlogistiek. Klanten zijn steeds veeleisender geworden. Ze verwachten bijvoorbeeld een levering sneller, op alternatieve locaties, op het juiste moment, in perfecte staat en tegen de laagste prijs. Hierdoor zijn nieuwe methodes ontwikkeld om klanten tijdig te beleveren. Voornaam is dat op de juiste dag geleverd wordt, maar de klantentevredenheid zal nog verder toenemen wanneer op het juiste moment wordt geleverd. Dit is wenselijk omdat hiermee wordt vermeden dat klanten een pakket moeten gaan afhalen op een alternatieve locatie of het kosten gaat vermijden wanneer een nieuwe poging tot bezorging wordt uitgevoerd. Dit is dus geen eenvoudige taak (Florio, Feillet, & Hartl, 2018).

Echter is het gebruik van tijdsvensters ook bij B2B leveringen te vinden. Hier leggen ontvangende partijen steeds vaker tijdsvensters op waartussen leveringen moeten plaatsvinden. Zo ook bij een logistieke dienstverlener die tracht verschillende klanten te beleveren binnen hun tijdsvenster. Het in rekening brengen van deze tijdsvensters zorgt voor extra beperkingen tijdens het rijden van de route en hierbij lopen de kosten al snel op. Het routeprobleem wordt traditioneel benaderd via het VRPTW. Hier wordt vanuit gegaan dat de tijdsvensters beschikbaar zijn, wat betekent dat de gewenste tijden zijn bepaald door de klant en overeengekomen met de logistieke dienstverlener (Florio et al., 2018).

## 2.2 Oplossingsmethodes

VRP is een NP-hard probleem. Een exacte oplossing verkrijgen van een VRP is dus niet eenvoudig. Bovendien zijn exacte algoritmes zelden toepasbaar op problemen met meer dan 50 klanten (Laporte & Osman, 1995). Voor grote problemen bestaan er daarom heuristieken en metaheuristieken die trachten de optimale oplossing zo goed mogelijk te benaderen. Het garandeert niet dat de optimale oplossing wordt gevonden. De exacte algoritmes, heuristieken en metaheuristieken worden hieronder beknopt besproken. Er bestaat een grote waaier aan oplossingsmethodes (Weise et al., 2009). De methodes die worden besproken zijn maar een deel van wat er in de realiteit allemaal bestaat. Alle methodes bespreken zou hier te ver leiden.



## 2.2.1 Exacte algoritmes

De meeste exacte algoritmes zijn ontwikkeld om een oplossing te zoeken voor een CVRP. Echter is het niet eenvoudig om een CVRP met een exact algoritme op te lossen. Het is beduidend moeilijker dan een TSP aangezien CVRP een generalisatie is van het TSP. Enkel kleine rittenplanningsproblemen kunnen met een exact algoritme opgelost worden (Cordeau et al., 2007).

Om een CVRP op te lossen, bestaan er verschillende **branch-and-bound** algoritmes. Het basisidee voor het oplossen van het *branch-and-bound* algoritme is: verdeel en heers. Hiermee wordt bedoeld dat wanneer het originele 'grote' probleem te moeilijk is om direct op te lossen, het probleem wordt verdeeld in kleinere problemen die dan subproblemen worden genoemd. Deze subproblemen worden dan verder uitgewerkt en dit wordt gedaan totdat de subproblemen kunnen worden 'overwonnen'. Er wordt een grens gezet op hoe goed de beste oplossing in het subprobleem kan zijn en vervolgens wordt het subprobleem verwijderd als de grens aangeeft dat deze onmogelijk een oplossing is voor het oorspronkelijke 'grote' probleem (Hiller & Lieberman, 2015).

Een tweede exact algoritme dat later werd gevonden is de **branch-and-cut** benadering. *Branch-and-cut* omvat het gebruiken van *cutting planes* en het uitvoeren van een *branch-and-bound* algoritme. *Cutting planes* gaan bijkomende beperkingen toevoegen om het oplossingsgebied van de lineaire programmering te verkleinen zonder het elimineren van haalbare binaire integrale oplossingen. Dit zorgt ervoor dat het eenvoudiger is om tot de gewenste resultaten te komen. Het zal het rekenwerk bij het *branch-and-bound* algoritme sterk vereenvoudigen (Hiller & Lieberman, 2015).

## 2.2.2 Heuristieken

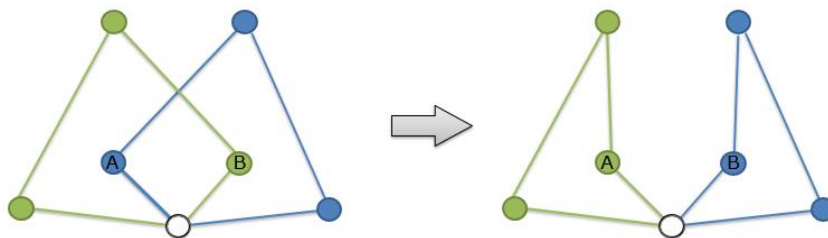
Bij grote problemen is het niet altijd mogelijk om een exact algoritme voor een rittenplanningsprobleem te vinden. Heuristische methodes zijn dan betrouwbare en efficiënte methodes om VRP's op grote schaal op te lossen. Ze zijn in staat om binnen een redelijke tijd een benaderende oplossing te bieden. Heuristische methodes garanderen niet noodzakelijk een optimale oplossing voor het specifieke probleem dat wordt overwogen, maar bieden wel een oplossing van hoge kwaliteit. Dit zorgt ervoor dat ze aantrekkelijker zijn in gebruik dan exacte algoritmes (Weise et al., 2009; Hiller & Lieberman, 2015).

Het heuristisch oplossen van een rittenplanningsprobleem kan aan de hand van een constructie- en verbeteringsheuristiek. Deze 2 heuristieken worden toegelicht samen met de meest voorkomende methodes die worden gebruikt om tot een oplossing te komen.

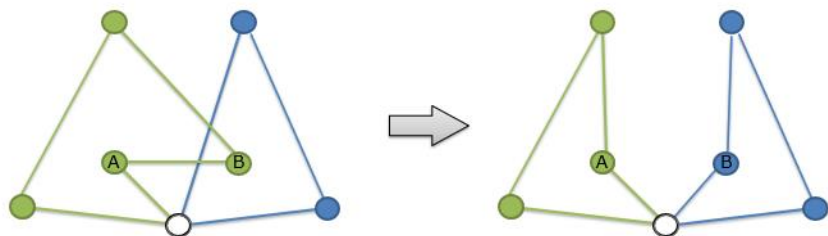
Een **constructieheuristiek** wordt toegepast wanneer er zich een probleem stelt, maar er nog geen oplossing is. Er wordt dan een constructieheuristiek gebruikt om een beginoplossing te verkrijgen. Er wordt een oplossing geconstrueerd door bij elke iteratie een klant of meerdere klanten toe te voegen. Enkele veelgebruikte constructieheuristieken zijn: *Clarke and Wright savings algorithm* en *sweep algorithm* (Hamdi-Dhaoui, Labadie, & Yalaoui, 2011).

Bij de **verbeteringsheuristiek** wordt gekeken of een beginoplossing verbeterd kan worden. Lokale zoekalgoritmes worden vaak gebruikt om initiële oplossingen gegenereerd door andere heuristieken te gaan verbeteren. Het gaat eenvoudige wijzigingen toepassen zoals het verwisselen van verbindingen of klantbewegingen om zo tot een betere oplossing te komen. Als er dan een verbeterde oplossing wordt gevonden, wordt deze de huidige oplossing en wordt het hele proces opnieuw herhaald (Cordeau et al., 2007).

In onderstaande figuren wordt een voorbeeld getoond van een verbeteringsheuristiek. De linkse afbeelding op beide figuren toont een beginoplossing waarvan 2 routes niet logisch zijn. De 2 routes kruisen elkaar. Vervolgens wordt een verbeteringsheuristiek toegepast. In figuur 2 wordt klant A opgenomen in de groene route en klant B in de blauwe route. Dit wordt exchange genoemd. In figuur 3 blijft klant A op zijn oorspronkelijke groene route en wordt klant B opgenomen in de blauwe route. Dit wordt relocate genoemd. Bij beide figuren leidt dit tot een verbeterde ritteplanning (Van Breedam, 1995).



Figuur 2: Verbeteringsheuristiek, exchange.



Figuur 3: Verbeteringsheuristiek, relocate.

### 2.2.3 Metaheuristieken

Metaheuristieken winnen de laatste jaren sterk aan populariteit (Weise et al., 2009). In tegenstelling tot de klassieke heuristieken zoeken ze grondiger naar een oplossingsruimte en eindigen ze minder snel in een lokaal optimum. Metaheuristieken kunnen in 3 verschillende klassen verdeeld worden (Cordeau et al., 2007).

De eerste klasse bevat de **local search** methodes. Bij *local search* wordt de oplossingsruimte onderzocht door iteratief van een oplossing  $x_t$  bij iteratie  $t$  naar een andere oplossing  $x_{t+1}$  in de buurt te verplaatsen totdat er voldaan is aan een op voorhand bepaald stopcriterium. In deze klasse behoren onder andere *simulated annealing*, *deterministic annealing* en *tabu search* (Cordeau et al., 2007). In voorgaande sectie kwam de *local search* methode ook aan bod bij de bespreking van de verbeteringsheuristiek. De *local search* ging dan louter op zoek naar mogelijke verbeteringen voor

de rittenplanning. De *local search* methodes die hier besproken worden gaan zowel verbeteringen als verslechtingen toestaan om naar een optimum te gaan (Hiller & Lieberman, 2015).

De tweede zijn ***population search*** methodes. Hier worden eerdere oplossingen gecombineerd om tot een nieuwe oplossing te komen. Op die manier wordt geprobeerd om tot een betere oplossing te komen. Deze klasse bevat onder andere genetische algoritmes en adaptieve geheugenprocedures (Cordeau et al., 2007).

De laatste klasse bevat de ***learning mechanisms***. Hier wordt geleerd uit voorgaande oplossingen en worden deze gebruikt om tot een nieuwe oplossing te komen. Hiertoe behoren *neural networks* en *ant colony optimization* (Cordeau et al., 2007).

Tegenwoordig wordt een strikt onderscheid tussen de verschillende klassen niet meer gemaakt. Sommige heuristische algoritmes zijn hybride. Dit betekent dat verschillende methodes hun betere eigenschappen met elkaar gaan combineren (Hiller & Lieberman, 2015).

## 3 Kostenallocatie: criteria en methodes

Zodra een efficiënte rittenplanning wordt gevonden, ontstaat er een nieuw uitdaging. De logistieke dienstverlener moet namelijk de transportkosten toewijzen aan de verschillende klanten (Vos & Raa, 2018). Om een duurzame rittenplanning te realiseren waarbij alle klanten tevreden zijn, is het dus voornamelijk dat de kosten eerlijk verdeeld worden onder de verschillende klanten en met andere woorden dat de kosten als acceptabel worden ervaren (Verdonck, Beullens, Caris, Ramaekers, & Janssens, 2016; Vos & Raa, 2018). Een belangrijk aspect hierbij is dat de kosten immers op zo een manier verdeeld worden dat de gedeelde kost lager is dan de kost wanneer de klant individueel zou opereren. Dit omdat wanneer de kost van de individuele klant te hoog oploopt, de logistieke dienstverlener het risico loopt dat de klant een andere logistieke dienstverlener gaat benaderen. Het is dus daarom noodzakelijk dat elke individuele klant akkoord is met de gealloceerde kost (Vos & Raa, 2018).

In de literatuur met betrekking tot kostenallocatiemethodes wordt uitgegaan van een horizontale samenwerking. Vaak zal te lezen zijn in dit hoofdstuk dat het voor de klant voordeliger is om de coalitie te verlaten of dat de klant een prikkel krijgt om het systeem te verlaten. Echter moet dit in het onderwerp waar deze masterproef zicht op focust, een logistieke dienstverlener die kosten gaat alloceren, anders worden geïnterpreteerd. Het is de interne beslissing van de logistieke dienstverlener om de kosten op een rit te verdelen over de verschillende opdrachten in deze rit en de klant staat hier los van. Wanneer er wordt gesproken dat de klant een prikkel krijgt om de coalitie te verlaten, wordt bedoeld dat de toegewezen (gedeelde) kost hoger is dan de kost van de klant zijn afzonderlijke rit en dit is natuurlijk nadelig voor de klant. Het is de taak van de logistieke dienstverlener om een zo eerlijk mogelijke kostenallocatie te voorzien om zo klanten tevreden te houden. Een oneerlijke kostenallocatie kan ervoor zorgen dat de klant uiteindelijk bij een andere logistieke dienstverlener prijs gaat vragen. Dit in de veronderstelling dat de logistieke dienstverlener zijn prijszetting doet aan de hand van de gealloceerde kosten aan de verschillende klanten. Bij het lezen van deze masterproef moet dit in het achterhoofd worden gehouden.

In het tweede hoofdstuk van de literatuurstudie worden de meest gebruikte en bestaande kostentoe wijzing methodes besproken. Er wordt een onderscheid gemaakt tussen 3 verschillende type methodes om kosten toe te wijzen. Als eerste is er de proportionele toewijzing, vervolgens zijn er de methodes gebaseerd op de coöperatieve speltheorie en als laatste zijn er de methodes die ontworpen zijn om om te gaan met aanvullende samenwerkingseigenschappen (Verdonck et al., 2016). In de eerste sectie wordt een overzicht gegeven van de gebruikte notatie en criteria bij kostenallocatie. In de daaropvolgende secties worden de kostenallocatiemethodes uitvoerig besproken en geanalyseerd.

### 3.1 Notatie

Vooraleer de verschillende kostenallocatiemethodes worden toegelicht, worden de notatie en enkele criteria besproken die de verdere lezing van deze masterproef zullen vereenvoudigen. In tabel 2 wordt een kort overzicht gegeven van de meest gebruikte notatie.

**TABEL 2: NOTATIE**

$N$	De grote coalitie, coalitie van alle klanten.
$S, T, \dots \subseteq N$	Hoofdletters duiden op subcoalities, een deel/subset van klanten van de grote coalitie.
$  \cdot  $	Het aantal klanten in een coalitie.
$x_j$	De toegewezen kost aan klant $j$ .
$i, j, \dots \in N$	Kleine letters duiden op een individuele klant.
$C(N)$	De kost van een grote coalitie.
$C(S)$	De kost van een subcoalitie.
$C(j)$	De <i>stand-alone</i> kost van klant $j$ .
$m_j$	De marginale kost om klant $j$ toe te voegen aan een bestaande coalitie van klanten.

## 3.2 Criteria

In de literatuur wordt een groot aantal verschillende allocatiemethodes gevonden. Dikwijls wordt de vraag gesteld welke methode het beste is. Echter is hier geen eenduidig antwoord op te formuleren. Om een kostenallocatiemethode te evalueren zijn verschillende criteria in het leven geroepen. Criteria zijn eigenschappen waaraan een kostenallocatiemethode al dan niet voldoet. Ze zijn van groot belang bij de keuze van de allocatiemethode. Het is aan de gebruiker om te bepalen welke criteria als belangrijk worden ervaren (Guajardo & Rönnqvist, 2016).

In de literatuur worden criteria benaderd vanuit een horizontale samenwerking tussen verschillende bedrijven. In de bespreking van de verschillende criteria, zal eerst het criterium benaderd worden vanuit een horizontale samenwerking. Vervolgens wordt de vertaalslag gemaakt naar een logistieke dienstverlener die de orders gaat distribueren naar verschillende klanten toe, de focus van deze masterproef.

### 3.2.1 Criteria van kostenallocatiemethodes

Er wordt een onderscheid gemaakt tussen verschillende soorten criteria. Een eerste soort zijn eigenschappen van een oplossing of met andere woorden van een kostenallocatie. Deze worden ook wel axioma's genoemd. Axioma's worden beschouwd als de belangrijkste eigenschappen waaraan een kostenallocatie kan voldoen (Defryn, Sörensen, & Cornelissens, 2016).

#### 1. Efficiëntie

Het eerste criterium gaat de efficiëntie na of de groepsrationaliteit. Hier geldt dat de totale kosten van de grote coalitie  $C(N)$  verdeeld worden over de verschillende spelers  $j \in N$ . Dan wordt de allocatie efficiënt genoemd en waarbij  $x_j$  de kost voorstelt die aan elke speler  $j$  wordt toegekend (Guajardo &

Rönnqvist, 2016). Met andere woorden, de totale gezamenlijke kost wordt gedeeld wanneer de grote coalitie  $N$  wordt gevormd (Verdonck et al., 2016):

$$\sum_{j \in N} x_j = C(N)$$

Dit wil zeggen dat de totale gezamenlijke kost van alle klanten samen op een rit verdeeld zal worden onder de verschillende klanten.

## 2. Symmetrie

Het volgende criterium is symmetrie of ook wel anonimiteit genoemd. Symmetrie betekent dat wanneer er 2 willekeurige spelers  $i$  en  $j$  zijn die dezelfde marginale kost hebben bij het toetreden aan een coalitie, aan deze spelers eenzelfde kost moet worden toegewezen. Met andere woorden, elke speler krijgt dezelfde kost gealloceerd wanneer die op dezelfde manier samenwerkt met gelijke bedrijven (Frisk et al., 2010):

$$C(S \cup i) = C(S \cup j) \rightarrow x_i = x_j$$

Dit betekent dat wanneer er 2 verschillende klanten worden toegevoegd aan een rittenplanning en dit evenveel kost, er eenzelfde kost aan de klanten moet worden gealloceerd.

## 3. Additiviteit

Het criterium additiviteit houdt in dat de toewijzing van kosten van een combinatie van meerdere afzonderlijke coalities gelijk is aan de som van de afzonderlijke toewijzingen van deze coalities (Verdonck et al., 2016). De kostentoe wijzing kan dus niet worden beïnvloed door op voorhand grotere coalities te vormen (Defryn et al., 2016):

$$x_{i+j} = x_i + x_j$$

Additiviteit betekent dat wanneer de logistieke dienstverlener een rittenplanning opstelt met meerdere coalities, de kostenallocatie van meerdere gescheiden coalities gelijk moet zijn aan de som van de gescheiden kostenallocaties van deze coalities. Bijvoorbeeld wanneer er 2 coalities zijn, zal de totale toegewezen kost aan deze 2 coalities gelijk zijn aan de som van de gealloceerde kosten van coalitie 1 en 2.

## 4. Dummy eigenschap

Een ander criterium is de dummy eigenschap. Wanneer een speler 0 voordelen toevoegt aan de coalitie in die zin dat de speler geen enkele coalitie helpt of schaadt door er lid van te zijn, mag die speler geen deel van de gezamenlijke kostenbesparing ontvangen. Dit betekent dat deze speler dezelfde kosten toegewezen krijgt als hij op zichzelf zou opereren, de *stand-alone* kost dus (Verdonck et al., 2016). Klant  $j$  is een dummy klant als:

$$C(S \cup j) = C(S) \quad \forall S \subseteq N(j)$$

De dummy eigenschap is dan:

$$x_j = 0 \quad \forall \text{ dummy klanten } j \in N$$

De dummy eigenschap zorgt er voor dat *free-riders* voorkomen worden. Met het *free-rider* probleem wordt bedoeld dat klanten de mogelijkheid hebben om te profiteren van de economische baten zonder hiervoor te betalen. Dankzij de dummy eigenschap wordt dit probleem onderschept (Verdonck et al., 2016).

Wanneer de logistieke dienstverlener een klant toevoegt aan een rittenplanning en die klant draagt bij aan het voordeel van een gezamenlijke rit, mag die meeprofiteren van de baten. Klanten die niet bijdragen, mogen geen voordelen toegekend worden. Met andere woorden dan mag de klant niet meeprofiteren van het voordeel van een gezamenlijke rit, namelijk een gezamenlijke kostenbesparing. Dan is de kost gelijk aan de afzonderlijke rit van die klant.

## 3.2.2 Criteria van kostenspel

Naast de besproken criteria van een kostenallocatie, bestaan er nog andere criteria die de eigenschappen bespreken van een kostenspel.

### 1. Monotone kostenfunctie

Een kostenfunctie is monotoon indien geldt dat wanneer een speler wordt toegevoegd aan een coalitie de kosten dan nooit afnemen (Vos & Raa, 2018; Engevall, Göthe-Lundgren, & Värbrand, 2004):

$$C(S) \leq C(T) \quad S \subset T \subset N$$

In de context van deze masterproef betekent dit dat wanneer de logistieke dienstverlener een extra klant mee opneemt in een rittenplanning, de totale kost van die coalitie nooit zal afnemen. De kost kan gelijk zijn of groter.

### 2. Cross-monotoniciteit

Cross-monotoniciteit garandeert dat wanneer een nieuwe speler de coalitie betreedt, het toegekende voordeel van de bestaande klanten niet afneemt. Een bestaande coalitie gaat dus niet slechter af zijn wanneer een speler zich toevoegt aan de coalitie (Verdonck et al., 2016).

Wanneer de logistieke dienstverlener een nieuwe klant toevoegt aan de rittenplanning, zullen de klanten van de reeds bestaande rittenplanning geen hogere kost toegewezen krijgen dan reeds het geval was.

### 3. Subadditiviteit

Wanneer het kostenspel subadditief is, houdt dit in dat som van de kosten van de spelers van de coalitie groter of gelijk moet zijn aan de totale kost van de coalitie. Het is altijd minstens even goed om 2 aparte coalities te laten samenwerken en een grote coalitie te laten vormen. Het is dus met andere woorden altijd winstgevender (of toch zeker niet minder winstgevend) om grotere coalities te vormen (Frisk et al., 2010; Vos & Raa, 2018):

$$C(S) + C(T) \geq C(S \cup T) \quad S \cap T = \emptyset$$

Veronderstel dat in een rittenplanning klant 1 en 2 samen zitten in een eerste rit. In een tweede opgestelde rit zitten klant 3 en 4. De som van de kost van de eerste rit en de kost van de tweede rit is altijd groter of gelijk aan de totale kost van een rit met klant 1, 2, 3 en 4 samen. Het is dus met andere woorden altijd goedkoper (of toch zeker niet duurder) om meerdere klanten samen in een rittenplanning op te nemen.

#### 4. Convexiteit

Een kostenspel is convex wanneer de marginale kost om een speler toe te voegen aan een coalitie daalt wanneer de grootte van de coalitie toeneemt.

$$C(S \cup j) - C(S) \geq C(T \cup j) - C(T) \quad \forall j, \forall S \subseteq T \subseteq N$$

Wanneer een kostenspel convex is, bestaat de *core* en is de *core* dus met andere woorden niet leeg (Frisk et al., 2010; Drechsel & Kimms, 2010; Engevall et al., 2004).

Voor een logistieke dienstverlener wordt het steeds goedkoper en bijgevolg interessanter om een klant toe te voegen aan een coalitie naarmate de coalitie uitbreidt.

### 3.2.3 Core van kostenspel

Tot slot wordt er een belangrijk begrip besproken, namelijk de *core* van een kostenspel. Eerst worden twee criteria aangekaart om zo de bespreking van de *core* te verduidelijken.

#### 1. Individuele rationaliteit

Individuele rationaliteit garandeert dat geen enkele speler meer zal betalen dan zijn *stand-alone* kosten. Dit zijn de spelers hun individuele kosten indien ze op zichzelf zouden handelen dus wanneer er geen coalitie wordt gevormd (Verdonck et al., 2016; Frisk et al., 2010):

$$x_j \leq C(j) \quad \forall j \in N$$

Dit betekent dat een logistieke dienstverlener een klant op zijn rit niet meer kosten zal toewijzen dan de kost van de afzonderlijk rit van die klant.

#### 2. Subgroep rationaliteit

Subgroep rationaliteit betekent dat de som van de toegewezen kosten aan de spelers van een coalitie nooit groter mag zijn dan de totale kost die deze coalitie veroorzaakt. Dit zal voorkomen dat spelers de grote coalitie gaan verlaten om een subgroep te vormen (Frisk et al., 2010).

$$\sum_{j \in S} x_j \leq C(S) \quad \forall S \in N$$

In de context van deze masterproef heeft dit de betekenis dat de logistieke dienstverlener ervoor zorgt dat de som van de gealloceerde kosten aan een subgroep van klanten op een gezamenlijke rit niet hoger zal zijn dan de totale kost van die subgroep van klanten. Dit zorgt ervoor dat de logistieke dienstverlener een rittenplanning met alle klanten verkiest.



## Stabiliteit (core)

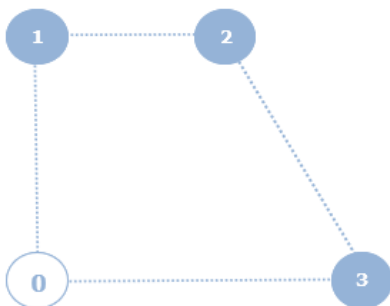
Een belangrijk concept bij de speltheorie is de *core* van het spel. De *core* is de verzameling van alle oplossingen die niet verbeterd kunnen worden door het vormen van een subcoalitie. De *core* zal leeg zijn wanneer het beter is voor een groep klanten om een andere coalitie te vormen. De *core* is met name belangrijk omdat wanneer de kosten gealloceerd worden volgens een toewijzing die in de *core* ligt, de spelers dan geen prikkel hebben om zich los te koppelen van de grote coalitie en een coalitie aan te gaan met een andere, kleinere coalitie. Een allocatie die in de *core* ligt en waarvan de *core* dus niet leeg is, wordt stabiel genoemd. Wanneer de *core* daarentegen leeg is, houdt dit in dat er geen stabiele samenwerking gevormd kan worden (Frisk et al., 2010).

De *core* van het spel wordt gedefinieerd wanneer er aan 2 criteria is voldaan. Het eerste criterium is het efficiëntie criterium en het tweede subgroep rationaliteitscriterium. Dan zal geen enkele speler of subcoalitie van spelers van de samenwerking profiteren door de grote coalitie  $N$  te verlaten (Verdonck et al., 2016):

$$\sum_{j \in N} x_j = C(N) \quad \text{EN} \quad \sum_{j \in S} x_j \leq C(S) \quad \forall S \in N$$

Wanneer een stabiele allocatie gevonden wordt bij het opstellen van de rittenplanning door een logistieke dienstverlener, zal die ondervinden dat één enkele klant of groep van klanten beter af gaat zijn door ze toe te voegen aan de gezamenlijke rittenplanning.

Om het principe van een *core* te illustreren wordt een voorbeeld uitgewerkt. Er wordt verondersteld dat er 3 klanten zijn met elk een *stand-alone* kost:  $C(1) = 7$ ,  $C(2) = 9$  en  $C(3) = 10$ . Dit zijn de kosten wanneer de klant zelf de rit zou uitvoeren. Bijvoorbeeld voor klant 1 is dit de kost van de afstand van het depot naar klant 1 en terug naar het depot. In figuur 4 wordt een schets van de ligging van de klanten grafisch weergegeven. Zo ligt klant 1 het dichtst bij het depot en klant 3 het verst.



Figuur 4: Schets grafische ligging van de klanten.

Ook zijn de kosten van subcoalities gegeven:  $C(1,2) = 14$ ,  $C(1,3) = 14$  en  $C(2,3) = 16$ . Tot slot is er de kost van de gezamenlijke rittenplanning gegeven van de 3 klanten samen:  $C(1,2,3) = 21$ . In figuur 5 wordt de *core* geïllustreerd. Dit wordt verkregen door MatLab (TUGlab). De hoekpunten worden automatisch berekend:

$$(2,9,10) = (C(N) - C(2) - C(3), C(2), C(3))$$

$$(7,4,10) = (C(1), C(N) - C(1) - C(3), C(3))$$

$$(7,9,5) = (C(1), C(2), C(N) - C(1) - C(2)).$$

Om de core te bepalen, worden de volgende vergelijkingen opgesteld:

$$x_1 \leq 7, x_2 \leq 9, x_3 \leq 10$$

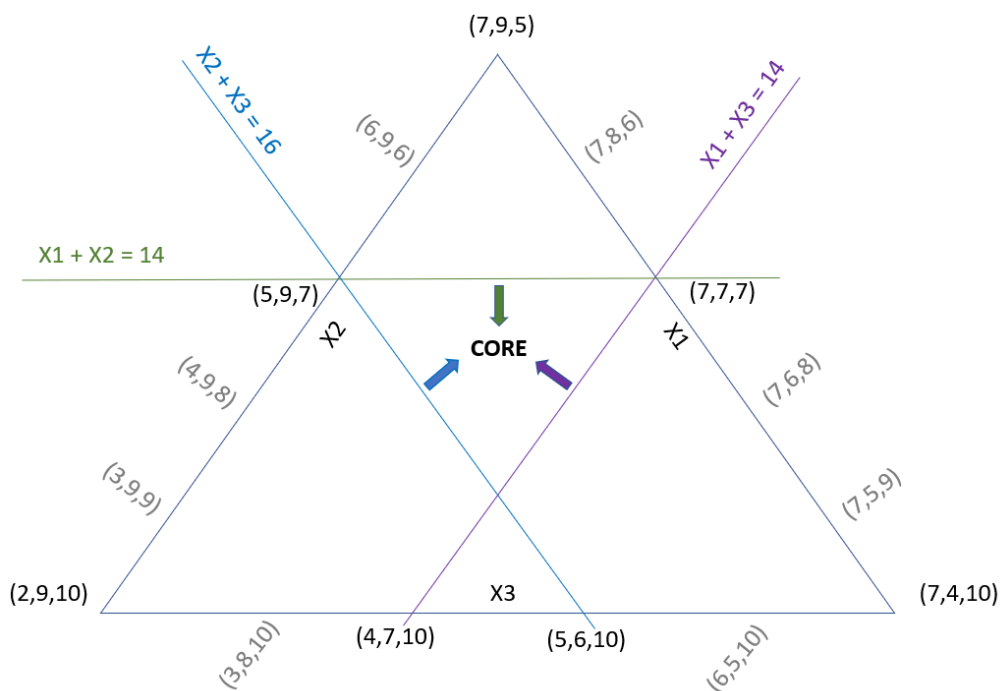
$$x_1 + x_2 \leq 14, x_1 + x_3 \leq 14, x_2 + x_3 \leq 16$$

$$x_1 + x_2 + x_3 = 21$$

Om bijvoorbeeld  $x_1 + x_2 = 14$  aan te duiden, wordt de volgende werkwijze gebruikt:  $x_1$  kan gelijk zijn aan 7 of  $x_2$  gelijk aan 9:

- $x_1 = 7 \rightarrow x_2 = 14 - 7 = 7 \rightarrow x_3 = 21 - 7 - 7 = 7 \rightarrow (7,7,7)$
- $x_2 = 9 \rightarrow x_1 = 14 - 9 = 5 \rightarrow x_3 = 21 - 5 - 9 = 7 \rightarrow (5,9,7)$

Deze punten worden aangeduid op figuur 5 en worden verbonden tot een rechte die dan  $x_1 + x_2 = 14$  voorstelt. Deze wordt in het groen weergegeven. Dit wordt ook gedaan voor de andere 2 vergelijkingen:  $x_1 + x_3 = 12$  en  $x_2 + x_3 = 16$ . Zo worden snijvlakken verkregen en wanneer er voldaan is aan alle voorwaarden, wordt de core gevonden (Drechsel & Kimms, 2010).



Figuur 5: Core van het kostenspel.

### 3.3 Kostenallocatiemethodes

In de literatuur worden meer dan 40 methodes gevonden voor kostentoewijzing in rittenplanning. Enkele veelvoorkomende methodes zijn: *ad hoc*, *Shapley*, *proportional*, *nucleolus*, *dual*, *marginal*,  *$\tau$ -value*, *aumann-shapley*, *core centre*, *minmax core*, *disruption nucleolus*, *per capita nucleolus*, *modiclus* en *SM-nucleolus*. Deze opsomming is echter niet limitatief (Guajardo & Rönnqvist, 2016).

In de volgende secties wordt gefocust op verschillende type kostenallocatiemethodes die het vaakst worden bestudeerd in de literatuur. Hun werking wordt toegelicht aan de hand van formules en een uitgewerkt voorbeeld. Het voorbeeld zal steeds vertrekken vanuit dezelfde opgave die eerder besproken is bij het criterium stabiliteit.

#### 3.3.1 Proportionele toewijzing methode

De eerste en tevens meest gebruikte kostenallocatiemethode is de proportionele toewijzing. De kost wordt proportioneel verdeeld over de verschillende klanten aan de hand van een criterium. Elke klant  $j$  wordt toegewezen aan een aandeel  $\alpha_j$  van de totale kosten  $C(N)$ , weergegeven met de volgende formule (Guajardo & Rönnqvist, 2016):

$$x_j = \alpha_j * C(N) \quad \forall j \in N$$

$$\sum_{j \in N} \alpha_j = 1$$

De verdeling ( $\alpha_j$ ) kan op basis van enkele criteria. De eenvoudigste is het aantal klanten  $n$  waarbij  $\alpha_j$  gelijk is aan  $\frac{1}{n}$  en de totale kosten gaat verdelen tussen alle klanten. Dit wordt ook wel de egalitaire methode genoemd (Guajardo & Rönnqvist, 2016):

$$x_j = \frac{C(N)}{n} \quad \forall j \in N$$

Wanneer dit wordt toegepast op het cijfervoorbeeld wordt de volgende kostenallocatie verkregen voor elke klant:

$$x_j = \frac{21}{3} = 7$$

Een tweede criterium is het te vervoeren volume en tot slot is er het individuele kostenniveau gebaseerd op de afstand, ook wel *stand-alone* kosten genoemd (Verdonck et al., 2016). Met dit laatste criterium wordt de kost bedoeld van een rit naar één individuele klant en de terugkeer naar het depot (Sun et al., 2015). Het aandeel  $\alpha_j$  wordt dan weergegeven als de *stand-alone* kost per klant gedeeld door de som van alle *stand-alone* kosten van alle klanten samen (Vos & Raa, 2018):

$$\alpha_j = \frac{C(j)}{\sum_{i \in N} C(i)}$$

Opnieuw wordt dit toegepast op het voorbeeld. Eerst wordt aandeel  $\alpha_j$  berekend voor elke klant:

$$\alpha_1 = \frac{7}{7 + 9 + 10} = 0,27$$

$$\alpha_2 = \frac{9}{7 + 9 + 10} = 0,35$$

$$\alpha_3 = \frac{10}{7 + 9 + 10} = 0,38$$

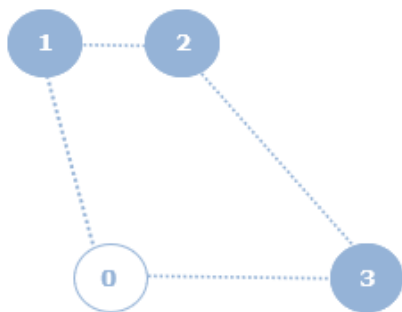
Vervolgens wordt de gealloceerde kost per klant berekend:

$$x_1 = 0,27 * 21 = 5,67$$

$$x_2 = 0,35 * 21 = 7,35$$

$$x_3 = 0,38 * 21 = 7,98$$

De voordelen van deze methode worden gevonden in de eenvoudige interpretatie, berekening en implementatie (Verdonck et al., 2016). Echter heeft deze methode ook een groot nadeel. Er is geen garantie op een eerlijke verdeling en stabiliteit. Zo is het mogelijk dat een logistieke dienstverlener een rittenplanning opstelt waarin de gezamenlijke, gealloceerde kost hoger is dan de *stand-alone* kost (Vos & Raa, 2018). Er wordt daarnaast bij de proportionele toewijzing geen rekening gehouden met mogelijke interactie informatie tussen klanten op een route. Dit wordt geïllustreerd aan de hand van een voorbeeld weergegeven in figuur 6. Stel er zijn 3 klanten met een gelijke afstand tot het depot en klant 1 en 2 zijn geclusterd, dan zal de proportionele toewijzing de kosten gelijk verdelen onder de 3 klanten. Dit zou onredelijk zijn omdat de kosten aan klant 3 hoger zouden moeten zijn en aan klant 1 en 2 lager. Klant 1 en 2 kunnen immers minder kosten toegewezen krijgen wanneer ze samen een subcoalitie vormen. Op deze manier kunnen dus te hoge kosten worden aangerekend aan geclusterde klanten (Sun et al., 2015).



Figuur 6: Voorbeeld van een mogelijke route.

### 3.3.2 Methodes o.b.v. coöperatieve speltheorie

Een meer geavanceerde type van methode zijn de kostenallocatiemethodes die gebaseerd zijn op de coöperatieve speltheorie (Vos & Raa, 2018). De speltheorie onderzoekt de strategische interactie en coöperatie tussen verschillende spelers of beslissing-makers, in dit geval klanten. Meer specifiek bestudeert de coöperatieve speltheorie een situatie waarin vrij onderhandeld kan worden. Er wordt geanalyseerd hoe een coalitie onder klanten kan worden gevormd om een groter nut te realiseren. Vervolgens wordt gekeken naar wat hiervoor de beste strategie zal zijn en wanneer een strategisch evenwicht plaats zal vinden. Met een strategisch evenwicht wordt een evenwicht bedoeld waarbij er

voor geen enkele klant een prikkel is om het systeem te verlaten. Dit wordt in de theorie ook wel het Nash-evenwicht genoemd. De orders worden immers gedeeld bij een gezamenlijke rittenplanning en klanten zullen hiervoor moeten betalen. Nadien worden de kosten per klant zo eerlijk mogelijk verdeeld en dit sluit namelijk dicht aan bij de opzet van coöperatief spel (Verdonck, Ramaekers, Depaire, Caris, & Janssens, 2017). Het spel houdt rekening met het feit dat de beslissing van een klant dikwijls afhangt van beslissingen van andere klanten (Vos & Raa, 2018).

De 2 meest voorkomende allocatiemethodes gebaseerd op de speltheorie zijn de Shapley waarde en de nucleolus (Vos & Raa, 2018). Deze worden in de volgende 2 secties bestudeerd.

### 3.3.2.1 Shapley waarde

Een veel gebruikte allocatiemethode gebaseerd op de coöperatieve speltheorie is de Shapley waarde (Verdonck et al., 2017). Deze methode houdt rekening met de marginale bijdrage van elke klant (Sun et al., 2015). Elke klant wordt namelijk één voor één toegevoegd aan de coalitie. Bij het toevoegen wordt de marginale kost berekend waarmee de totale kost van de coalitie wordt vermeerderd. Echter is deze marginale kost afhankelijk van de volgorde waarin de klant op dat moment wordt toegevoegd aan de coalitie. Wanneer er N klanten zijn, kan dit op N! mogelijke manieren, ook wel permutaties genoemd. Alle mogelijke opeenvolgingen voor het vormen van de coalitie worden overwogen. De Shapley geeft een gemiddelde van de marginale kosten van de klanten weer opdat de klanten in een willekeurige volgorde worden toegevoegd (Frisk et al., 2010).

Het bedrag  $[C(S) - C(S \setminus \{j\})]$  geeft de kosten van coalitie  $S \setminus \{j\}$  weer die zullen toenemen wanneer klant j zich toevoegt aan de coalitie. Het zijn dus de marginale kosten van klant j ten opzichte van de coalitie S zonder j (Frisk et al., 2010).

De toewijzing van kosten x aan klant j kan wiskundig worden uitgedrukt als:

$$x_j = \sum_{S \subset N: j \in S} \left[ \frac{(|S| - 1)! (|N| - |S|)!}{|N|!} \right] [C(S) - C(S \setminus \{j\})]$$

|S| Geeft het aantal klanten in de beschouwde coalitie weer. N staat voor de verzameling van alle klanten en wordt de grote coalitie genoemd. S is de uitdrukking voor een subset van de coalitie die een gezamenlijke kost realiseren gegeven met de functie C(S) (Verdonck et al., 2017).

Een voordeel van de Shapley waarde is dat deze, als enige, voldoet aan de 4 axioma's: efficiëntie, symmetrie, additiviteit en dummy eigenschap. Daarnaast voorziet de Shapley waarde een kostenallocatie die uniek is. De Shapley waarde heeft tevens een paar nadelen. De uitdaging zit hem immers in de complexe berekeningen die ermee gepaard gaan. Elke marginale bijdrage van elke klant aan elke mogelijke coalitie moet immers worden berekend (Sun et al., 2015). Ook is er geen algemene garantie op stabiliteit. De Shapley waarde voldoet immers niet noodzakelijk aan het individuele rationaliteitscriterium (Frisk et al., 2010). Wanneer de core bestaat en dus niet leeg is, kan de Shapley waarde zowel in de core liggen als niet in de core liggen. Er is dus geen garantie wanneer de core bestaat dat de Shapley waarde in de core ligt en dus voldoet aan het stabiliteitscriterium.

Ter verduidelijng is in tabel 3 een voorbeeld uitgewerkt hoe de Shapley waarde wordt berekend. Er wordt met dezelfde opgave gewerkt als voordien.

**TABEL 3: BERKENING SHAPLEY WAARDE**

Permutatie	m <sub>1</sub>	m <sub>2</sub>	m <sub>3</sub>
123	7	7	7
132	7	7	7
213	5	9	7
231	5	9	7
312	4	7	10
321	5	6	10
Σm <sub>i</sub>	33	45	48
Shapley waarde	5,5	7,5	8,0

Dit voorbeeld wordt verder toegelicht. Permutatie 123 wordt beschouwd. De marginale toetredingskost voor de eerste klant die de coalitie toetreedt, klant 1, bedraagt 7. Dit is zijn *stand-alone* kost. Dan gaat klant 2 toetreden aan de coalitie. De kost is gelijk aan  $C(1,2) - C(1) = 14 - 7 = 7$ . Tot slot zal klant 3 toetreden, diens kost bedraagt  $C(1,2,3) - C(1,2) = 21 - 14 = 7$ .

Dit wordt voor elke mogelijke permutatie berekend. Vervolgens wordt de marginale toetredingskost per klant gesommeerd en daarvan wordt dan het gemiddelde genomen. Zo wordt de Shapley waarde per klant gevonden.

### 3.3.2.2 Nucleolus

Een nog gecompliceerdere allocatiemethode op basis van de coöperatieve speltheorie is de nucleolus (Verdonck et al., 2017). Zoals eerder beschreven voldoet de Shapley waarde niet noodzakelijk aan het individuele rationaliteitscriterium. Hier voldoet de nucleolus wel aan. De nucleolus tracht de meest maximale ontevredenheid van elke coalitie te minimaliseren. Er wordt naar elke coalitie gekeken hoe ontevreden ze zijn over de kostentoe wijzing  $x$  en vervolgens wordt ernaar gestreeft om deze maximale ontevredenheid van elke coalitie tot een minimum te beperken. Op deze manier is de coalitie toch zo tevreden mogelijk (Frisk et al., 2010). Het is de taak van de logistieke dienstverlener om de (on)tevredenheid van zijn klanten te bewaken. De mate van ontevredenheid van een coalitie  $S$  met de toewijzing  $x$  wordt uitgedrukt door het *excess* aan de hand van de volgende formule:

$$\varepsilon(x, S) = C(S) - \sum_{j \in S} x_j$$

De *excess* berekent het verschil tussen de totale kost van een subcoalitie en de som van de aan de klanten toegewezen kosten wanneer ze deelnemen aan een gezamenlijke rittenplanning (Vos & Raa, 2018). Wanneer het *excess* negatief is, betekent dit dat de som van de toegewezen kosten groter moet zijn dan de totale kost van de subcoalitie. Op deze manier wordt de ontevredenheid van klanten in de subcoalitie  $S$  gemeten. Eerder werd aangetoond dat de *core* stabiel is wanneer aan de volgende 2 vergelijkingen is voldaan:  $\sum_{j \in N} x_j = C(N)$  en  $\sum_{j \in S} x_j \leq C(S) \quad \forall S \in N$ . Hier wordt gevonden dat de

tweede vergelijking:  $\sum_{j \in S} x_j \leq C(S) \forall S \in N$  alleen kan worden gerealiseerd wanneer het excess 0 is of positief (Lu & Quadrifoglio, 2019).

Wanneer er 2 kostenallocaties  $x$  en  $y$  zijn en wanneer de volgende formule geldt:

$$\max \left\{ C(S) - \sum_{j \in S} x_j \right\} > \max \left\{ C(S) - \sum_{j \in S} y_j \right\}$$

Dan levert kostenallocatie  $y$  een efficiëntere toewijzing op dan kostenallocatie  $x$ . Bij kostenallocatie  $y$  zullen klanten meer tevreden zijn. Wanneer de 2 maxima gelijk zijn aan elkaar, wordt de tweede grootste maxima vergeleken van  $x$  en  $y$ . Wanneer ze dan opnieuw gelijk zijn, kijken ze naar de derde grootste maxima enz. (Schmeidler, 1969).

Vervolgens wordt de definitie van de nucleolus besproken. Wanneer  $x \in \mathbb{R}^n$ , laat  $\theta(x)$  een vector zijn in  $\mathbb{R}^{2^N}$ . Dit impliceert  $\theta(x) = (\varepsilon(x, S_1), \dots, \varepsilon(x, S_{2^N}))$  waar de excess geordend is volgens zijn grootte i:  $(\varepsilon(x, S_1) \geq \varepsilon(x, S_2) \geq \dots \geq \varepsilon(x, S_{2^N}))$  dus van de coalitie die het meest ontevreden is naar de coalitie die het minst ontevreden is. Wanneer er 2 kostenallocatiemethodes zijn en  $x$  is meer acceptabel dan  $y$  dan geldt dat:  $\theta(x) < \theta(y)$ . De formele definitie van de nucleolus wordt als volgt gedefinieerd (Schmeidler, 1969):

$$\mathcal{N}(Y) = \{x \in Y \mid \theta(x) \leq \theta(y) \forall y \in Y\}$$

De oplossing die gevonden wordt door het minimum maximum probleem op te lossen, wordt de *least core* genoemd:

$$\text{Max min} \left\{ C(S) - \sum_{j \in S} x_j \right\}$$

Dit wordt getransformeerd naar een lineair programmeringsprobleem (LP):

$$\text{Max } w_1 \quad (1)$$

$$\text{s.t. } w_1 \leq C(S) - \sum_{j \in S} x_j \quad S \subset N \quad (2)$$

$$\sum_{j \in N} x_j = C(N) \quad (3)$$

De doelfunctie (1) gaat het excess, voorgesteld door  $w_1$ , trachten te maximaliseren. De eerste beperking (2) stelt de subgroep rationaliteitsvoorwaarde voor. De tweede beperking (3), het efficiëntie criterium, garandeert dat de totale kosten worden gedeeld over de verschillende klanten (Lu & Quadrifoglio, 2019).

Wanneer dit probleem een unieke oplossing biedt, wordt dit de nucleolus genoemd. Indien de oplossing niet uniek is, wordt een nieuw LP opgelost:

$$\text{Max } w_2 \quad (1)$$

$$\text{s.t. } w_2 \leq C(S) - \sum_{j \in S} x_j \quad S \in \{S \subset N \mid \Pi^{1*}(S) = 0\} \quad (2)$$

$$w_{1*} = C(S) - \sum_{j \in S} x_j \quad S \in \{S \subset N \mid \Pi^{1*}(S) \geq 0\} \quad (3)$$

$$\sum_{j \in N} x_j = C(N) \quad (4)$$

Opnieuw wordt in de doelfunctie (1) het *excess* gemaximaliseerd. Deze keer is dit de tweede meest ontevreden coalitie. De eerste beperking (2) en derde beperking (4) blijven hetzelfde. Enkel de tweede beperking (3) wordt toegevoegd. In deze beperking wordt het maximale *excess* van het eerste LP gelijkgesteld aan de totale kost van de subcoalitie minus de som van toegewezen kosten van deze subcoalitie. Deze beperking is nu bindend (Lu & Quadrifoglio, 2019).

Wanneer dit LP een unieke oplossing biedt, is dit de nucleolus van het spel. Indien niet, wordt dit herhaald tot een unieke oplossing wordt gevonden (Lu & Quadrifoglio, 2019).

De nucleolus voldoet aan de volgende 2 axioma's: symmetrie en de dummy eigenschap (Frisk et al., 2010). De allocatie is uniek en wanneer de *core* bestaat en dus niet leeg is, ligt de nucleolus in de *core* en zorgt dit voor een stabiele allocatie. In vergelijking met de Shapley waarde is het berekenen van de nucleolus nogal ingewikkeld. Het vereist het oplossen van een reeks LP-problemen. Er bestaat namelijk geen formule om tot een geldige oplossing te komen (Vos & Raa, 2018). Een ander nadeel van de nucleolus is dat het geen rekening houdt met de klant zijn individuele bijdrage aan de coalitie (Verdonck et al., 2016).

Wanneer de nucleolus wordt toegepast op het voorbeeld, worden de volgende vergelijkingen opgesteld:

$$\begin{aligned} & \text{Max } w_1 \\ & \text{s.t. } x_1 + w_1 \leq 7 \\ & \quad x_2 + w_1 \leq 9 \\ & \quad x_3 + w_1 \leq 10 \\ & \quad x_1 + x_2 + w_1 \leq 14 \\ & \quad x_1 + x_3 + w_1 \leq 14 \\ & \quad x_2 + x_3 + w_1 \leq 16 \\ & \quad x_1 + x_2 + x_3 = 21 \end{aligned}$$

Deze vergelijkingen worden opgelost met het programma LINGO. Het levert de volgende unieke oplossing op:  $x_1 = 5,67$ ,  $x_2 = 7,67$ ,  $x_3 = 7,67$  met  $w_1 = 0,67$ .

### 3.3.3 Methodes o.b.v. specifieke samenwerkingseigenschappen

Omtrent allocatiemethodes op basis van de speltheorie bestaan er twijfels over de toepasbaarheid in de praktijk. Het zijn namelijk vaak zeer complexe methodes. Vandaar dat er allocatiemethodes



zijn opgesteld die rekening houden met specifieke samenwerkingseigenschappen en waarvan sommige gebaseerd zijn op de ideeën van de speltheorie. De methodes zijn meer intuïtief en transparant (Verdonck et al., 2016).

### 3.3.3.1 Equal profit method (EPM)

De *equal profit method* (EPM) werd ontwikkeld met het idee om een allocatie te hebben waarbij de voordelen van de participerende klanten aan de gezamenlijke rittenplanning zoveel mogelijk gelijk zijn (Verdonck et al., 2016). Op deze manier tracht de logistieke dienstverlener zijn klanten te overtuigen dat er een eerlijke allocatie plaatsvindt waarbij niemand bevooroordeeld of benadeeld wordt. Bij voorgaande methodes was het echter moeilijk om ervoor te zorgen dat alle klanten een gelijkaardige kostenbesparing realiseren (Audy et al., 2017). De aanpak van deze methode wordt in vraag gesteld. In hoeverre is deze methode mogelijk aangezien sommige klanten nu eenmaal strengere criteria opleggen aan een coalitie dan anderen. Deze methode tracht een stabiele allocatie te realiseren die het grootste of maximale verschil in kostenbesparingen tussen elk paar klanten die een coalitie aangaan, minimaliseert (Verdonck et al., 2016). Om deze stabiele allocatie te vinden, moet een lineair programmeringsprobleem worden opgelost (Audy et al., 2017). De methode wordt hieronder verder beschreven.

De relatieve kostenbesparing die klant  $i$  realiseert door een coalitie te vormen wordt uitgedrukt als:

$$\frac{C(i) - x_i}{C(i)} = 1 - \frac{x_i}{C(i)}$$

Om er vervolgens voor te zorgen dat de klanten ongeveer een gelijkaardige kostenbesparing hebben, wordt het verschil in relatieve kostenbesparingen tussen 2 klanten  $i$  en  $j$  berekend. Dit wordt gedefinieerd als (Frisk et al., 2010):

$$\frac{x_i}{C(i)} - \frac{x_j}{C(j)}$$

Deze relatieve besparingen moeten voor elke paar van klanten zo veel mogelijk aan elkaar gelijk zijn. Om de EPM-toewijzing te vinden die hieraan voldoet, wordt gebruik gemaakt van volgend LP:

$$\text{Min } f \quad (1)$$

$$\text{s. t. } f \geq \frac{x_i}{C(i)} - \frac{x_j}{C(j)} \quad \forall i, j \in N \quad (2)$$

$$\sum_{j \in S} x_j \leq C(S) \quad \forall S \subseteq N \quad (3)$$

$$\sum_{j \in N} x_j = C(N) \quad (4)$$

De doelfunctie (1) minimaliseert het grootste verschil in kostenbesparing weergegeven met variabele  $f$ . De eerste beperking (2) berekent het paarsgewijze verschil tussen de relatieve besparingen van elk paar klanten. De tweede (3) en derde beperking (4) zorgen voor een stabiele allocatie die tot de *core* behoort. De tweede beperking garandeert dat de som van de toegewezen kosten aan de klanten van een coalitie nooit groter mag zijn dan de totale kost van deze coalitie. Aan de

rationaliteitsvoorwaarde is dus voldaan. De derde beperking (4) garandeert dat de totale kosten worden gedeeld over de verschillende klanten. Het voldoet aan het efficiëntie criterium (Verdonck et al., 2016).

EPM voldoet aan de eigenschap van cross-monotoniciteit. Wat inhoudt dat wanneer een klant zich toevoegt aan de coalitie, de bestaande coalitie niet slechter af gaat zijn. Tevens voldoet het aan de volgende 2 axioma's: efficiëntie en symmetrie. Daarnaast is er ook voldaan aan het stabiliteitscriterium. De EPM ligt in de *core* wanneer de *core* niet leeg is. Dit is het voornaamste voordeel van deze methode. Een ander voordeel van de EPM is dat het zeer eenvoudig te implementeren is en tevens makkelijk te interpreteren (Verdonck et al., 2016).

Ook wordt de EMP geïllustreerd aan de hand van het voorbeeld:

$$\begin{aligned}
 & \text{Min } f \\
 \text{s.t. } & f \geq \frac{x_1}{7} - \frac{x_2}{9} \\
 & f \geq \frac{x_2}{9} - \frac{x_1}{7} \\
 & f \geq \frac{x_1}{7} - \frac{x_3}{10} \\
 & f \geq \frac{x_3}{10} - \frac{x_1}{7} \\
 & f \geq \frac{x_2}{9} - \frac{x_3}{10} \\
 & f \geq \frac{x_3}{10} - \frac{x_2}{9} \\
 & x_1 \leq 7 \\
 & x_2 \leq 9 \\
 & x_3 \leq 10 \\
 & x_1 + x_2 \leq 14 \\
 & x_1 + x_3 \leq 14 \\
 & x_2 + x_3 \leq 16 \\
 & x_1 + x_2 + x_3 = 21
 \end{aligned}$$

Ook hier wordt LINGO gebruikt om tot het gewenste resultaat te bekomen. Er wordt gevonden dat:  $x_1 = 5,65$ ,  $x_2 = 7,27$ ,  $x_3 = 8,08$  met een  $f$ -waarde van 0,00. Een  $f$ -waarde van 0,00 betekent dat er geen verschil is in relatieve kostenbesparingen tussen alle klanten. De relatieve besparingen zijn dus voor alle klanten hetzelfde.

### 3.3.3.2 Methodes gebaseerd op deelbare en niet-deelbare samenwerkingskosten

Bij deze methodes wordt de totale gealloceerde kost verdeeld in 2 delen. Enerzijds een deel dat rechtstreeks toewijsbaar is aan een klant en anderzijds een deel waarin de rest van de kost verdeeld moet worden over de verschillende klanten via een verdeelsleutel of een gewicht (Frisk et al., 2010).

Eerst wordt aan elke klant de deelbare kost toegekend. Dit is de marginale kost om klant  $i$  toe te voegen aan de coalitie:

$$m_i = C(N) - C(N \setminus \{i\})$$

Met andere woorden de toename in kosten wanneer een klant zich toevoegt aan de grote coalitie.

In de tweede stap wordt de rest van de totale kost, ook wel de niet-deelbare kosten genoemd, verdeeld over de verschillende klanten op basis van verschillende gewichten. De niet-deelbare kost is de kost om de grote coalitie te vormen min de som van alle deelbare kosten, als volgt geformuleerd (Verdonck et al., 2016):

$$g(N) = C(N) - \sum_{j \in N} m_j$$

Wanneer dit wordt toegepast op het cijfervoorbeeld, worden de volgende berekeningen gemaakt:

$$m_1 = C(N) - C(N \setminus \{1\}) = 5$$

$$m_2 = C(N) - C(N \setminus \{2\}) = 7$$

$$m_3 = C(N) - C(N \setminus \{3\}) = 7$$

$$\sum_{j \in N} m_j = 19$$

$$g(N) = 21 - 19 = 2$$

Er zijn 3 methodes die gebaseerd zijn op het type methode van deelbare en niet-deelbare samenwerkingskosten: de *equal charge method* (ECM), de *alternative cost avoided method* (ACAM) en de *cost gap method* (CGM). Het verschil tussen deze methodes wordt gevonden in de manier waarop de niet-deelbare kost wordt verdeeld (Frisk et al., 2010).

#### A. *Equal charge method* (ECM)

De eerste methode, de *equal charge method* (ECM), gaat de niet-deelbare kosten gelijk verdelen over de verschillende klanten die participeren in de coalitie. Aan iedere klant zal dus eenzelfde kost worden toegewezen.

De ECM wijst kost  $x$  toe aan klant  $j$ :

$$x_j = m_j + \frac{1}{n} * g(N)$$

Een voordeel is dat de ECM een eenvoudige calculatie vergt. Het voldoet aan 2 axioma's: efficiëntie en symmetrie. Echter, garandeert deze methode niet dat de *core* stabiel is aangezien geen rekening wordt gehouden met coalities waarvan het aantal klanten groter is dan 1 en kleiner dan n-1 (Frisk et al., 2010; Tijs & Driessen, 1986).

Wanneer deze methode wordt toegepast op het voorbeeld, wordt de volgende kostenallocatie per klant verkregen:

$$ECA_1 = 5 + \frac{1}{3} * (2) = 5,67$$

$$ECA_2 = 7 + \frac{1}{3} * (2) = 7,67$$

$$ECA_3 = 7 + \frac{1}{3} * (2) = 7,67$$

### B. *Alternative cost avoided method (ACAM)*

De *alternative cost avoided method (ACAM)* gebruikt het gewicht dat rekening houdt met de individuele bijdrage van elke klant:

$$w_j = C(j) - m_j$$

Dit is het verschil tussen de individuele en marginale kosten van een klant j. Dat de kostenbesparing uitdrukt die gerealiseerd wordt door elke klant bij de grote coalitie toe te voegen in plaats van individueel te opereren.

ACAM wijst kost x toe aan klant j (Frisk et al., 2010):

$$x_j = m_j + \frac{w_j}{\sum_{i \in N} w_i} * g(N)$$

Een voordeel van ACAM is dat het zeer gebruiksvriendelijk is, het eenvoudig te begrijpen is en dat het rekening houdt met de bijdrage van elke klant (Verdonck et al., 2016). Het voldoet aan het efficiëntie criterium en aan het symmetrie criterium. Een nadeel aan ACAM is dat het niet garandeert dat de *core* stabiel is aangezien ook hier geen rekening wordt gehouden met coalities waarvan het aantal klanten groter is dan 1 en kleiner dan n-1 (Tijs & Driessen, 1986).

Ook bij deze methode wordt een voorbeeld uitgewerkt. Zo worden de volgende berekeningen gemaakt:

$$w_1 = C(1) - m_1 = 2$$

$$w_2 = C(2) - m_2 = 2$$

$$w_3 = C(3) - m_3 = 3$$

$$\sum_{i \in N} w_i = 7$$

De uiteindelijke kostenallocatie per klant bedraagt:

$$ACAM_1 = 5 + \frac{2}{7} * (2) = 5,57$$

$$ACAM_2 = 7 + \frac{2}{7} * (2) = 7,57$$

$$ACAM_3 = 7 + \frac{3}{7} * (2) = 7,86$$

### C. Cost gap method (CGM)

De laatste methode wordt de *cost gap method* genoemd omdat de allocatie van de niet-deelbare kost wordt bepaald aan de hand van een *cost gap* functie. De *cost gap* voor een coalitie  $S \subset N$  wordt als volgt geformuleerd:

$$g^c(S) = C(S) - \sum_{j \in S} m_j$$

We stellen dat de niet-deelbare kost van coalitie  $S$ ,  $g^c(S)$ , positief is. De *cost gap* methode volgt de volgende werkwijze; eerst wordt de ondergrens bepaald. Dit is de deelbare kost, ook wel de marginale kost bij het toetreden van een coalitie,  $m_j$ . Nadien wordt de bovengrens vastgesteld. De bovengrens is wat klant  $j$  maximaal wil inbrengen in een coalitie  $S$ ,  $m_j + g^c(S)$ . Indien de klant meer zou moeten betalen dan kan de klant dreigen de coalitie te verlaten om zelf een coalitie op te starten waarbij de kosten zodanig worden verdeeld dat elke andere klant behalve  $j$  alleen de ondergrens  $m_i$  hoeft te betalen, terwijl speler  $j$  zelf de resterende kosten op zich neemt:  $C(S) - \sum_{i \in S - \{j\}} m_i$  dat gelijk is aan  $m_j + g^c(S)$ . Op die manier zal klant  $j$  beter af zijn dan voorheen.

Het gewicht voor klant  $j$  wordt geformuleerd als:

$$w_j = \min g^c(S)$$

$w_j$  kan worden beschouwd als de maximale bijdrage van klant  $j$  aan de niet-deelbare kosten  $g^c(N)$  (Tijs & Driessen, 1986).

Tot slot wordt de CGM verduidelijkt met een voorbeeld. Eerst wordt de *cost gap* berekend voor elke mogelijke coalitie:

$$g^c(1) = 7 - 5 = 2, \quad g^c(2) = 9 - 7 = 2, \quad g^c(3) = 10 - 7 = 3, \quad g^c(1,2) = 14 - 12 = 2, \quad g^c(1,3) = 14 - 12 = 2, \\ g^c(2,3) = 16 - 14 = 2 \text{ en } g^c(1,2,3) = g^c(N) = 2.$$

Vervolgens wordt het gewicht per klant berekend:

$$w_1 = \min g^c(1) = 2$$

$$w_2 = \min g^c(2) = 2$$

$$w_3 = \min g^c(3) = 2$$

$$\sum_{j \in S} w_j = 6$$

Uiteindelijk bedraagt de kostenallocatie per klant:

$$CGM_1 = 5 + \frac{2}{6} * (2) = 5,67$$

$$CGM_2 = 7 + \frac{2}{6} * (2) = 7,67$$

$$CGM_3 = 7 + \frac{2}{6} * (2) = 7,67$$

De CGM voldoet aan verscheidene criteria: efficiëntie, individuele rationaliteit, symmetrie en de dummy eigenschap. Daarnaast biedt CGM een allocatie in de core tot en met een coalitie van slechts 3 klanten in het kostenspel. Tot en met 3 klanten biedt CGM dus garantie op stabiliteit. Bij meer dan 3 klanten, biedt CGM geen garantie meer op stabiliteit (Tijs & Driessen, 1986).

### 3.4 Overzicht

In het voorbije hoofdstuk werden de verschillende kostenallocatiemethodes in kaart gebracht. In tabel 4 wordt een overzicht gevonden van de verscheidene allocatiemethodes met hun bijhorende criteria.

**TABEL 4: OVERZICHT CRITERIA EN KOSTENALLOCATIEMETHODES**

	Proportionele toewijzing	Shapley	Nucleolus	EPM	ECM	ACAM	CGM
Efficiëntie	X	X	X	X	X	X	X
Individuele rationaliteit		X	X	X			X
Subgroep rationaliteit			X	X			
Stabiliteit			X	X			X*
Symmetrie	X	X	X	X	X	X	X
Dummy		X	X				X
Additiviteit		X					

\* Stabiel tot en met een kostenspel van 3 klanten.

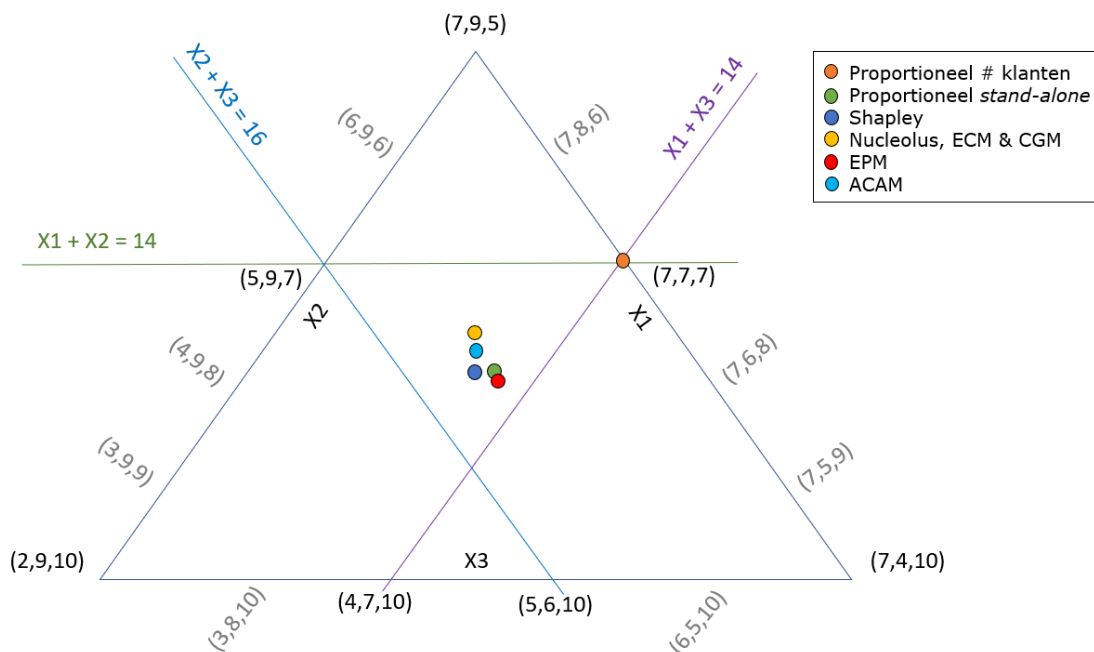
Ook werd er in het voorbije hoofdstuk per kostenallocatiemethode een voorbeeld uitgewerkt. Het voorbeeld vertrok telkens vanuit eenzelfde opgave. In tabel 5 wordt een overzicht weergegeven van alle methodes waar de kosten worden toegekend per klant.

**TABEL 5: KOSTENALLOCATIE PER METHODE PER KLANT**

(in €)	Proportioneel	Proportioneel	Shapley	Nucleolus	EPM	ECM	ACAM	CGM
	(o.b.v. aantal klanten)	(o.b.v. <i>stand-alone</i> kost)						
Klant 1	7,00	5,67	5,50	5,67	5,65	5,67	5,57	5,67
Klant 2	7,00	7,35	7,50	7,67	7,27	7,67	7,57	7,67
Klant 3	7,00	7,98	8,00	7,67	8,08	7,67	7,86	7,67

Wanneer de resultaten worden geanalyseerd, wordt gevonden dat de nucleolus, ECM en CGM eenzelfde resultaat oplevert. De keuze tussen de methodes zal afhangen van de complexiteit waarmee de berekeningen gebeuren en de criteria waaraan de methodes voldoen. De proportionele toewijzing gebaseerd op het aantal klanten levert een gelijke kostenallocatie voor alle klanten op. Deze methode kan in vraag gesteld worden, aangezien de 3 klanten op een verschillende afstand liggen tot het depot. Klant 1 die op kortere afstand ligt tot het depot krijgt immers een even grote kost toegewezen als klant 3 die op een grotere afstand ligt tot het depot.

Er wordt voor dit voorbeeld gevonden dat bij alle kostenallocatiemethodes de kosten worden gealloceerd volgens een toewijzing in de *core*. Dit betekent dus dat geen enkele klant bij één van de methodes zich zou willen loskoppelen van de grote coalitie. De methodes leveren een stabiele allocatie op. Elke klant zal dus beter af zijn door ze toe te voegen aan de gezamenlijke rittenplanning. De verschillende methodes waarvan de allocaties in de *core* liggen worden op figuur 7 weergegeven.



*Figuur 7: Kostenallocatiemethodes in core.*

Een uitgebreidere analyse van de verschillende methodes wordt besproken in het volgende hoofdstuk.

## 4 Empirische studie

Zoals besproken in de literatuurstudie is het noodzakelijk om een efficiënte rittenplanning te vinden vooraleer de kosten worden toegewezen aan de klanten. Om een rittenplanning op te stellen, wordt in de empirische studie van deze masterproef gebruik gemaakt van de *VRP Spreadsheet Solver*. Nadien zullen de besproken kostenallocatiemethodes in de literatuur worden toegepast op een fictieve dataset. De verschillende resultaten van de bestaande methodes zullen worden vergeleken. Tot slot wordt gekeken hoe deze bestaande methodes aangepast kunnen worden om beter om te gaan met aspecten zoals tijdsvensters en volume.

In dit hoofdstuk wordt eerst in 4.1. het onderzoeksopzet besproken. Vervolgens wordt in 4.2. de gebruikte datasets toegelicht. Sectie 4.3. gaat beschrijven hoe deze datasets worden gebruikt om een rittenplanning te verkrijgen. Kostenallocatiemethodes worden toegepast in sectie 4.4. en er wordt gezocht naar patronen, gelijkenissen en/of verschillen. In 4.5. en 4.6. worden respectievelijk tijdsvensters en volumes toegevoegd aan de kostenallocatiemethodes.

### 4.1 Onderzoeksopzet

Om te achterhalen hoe de kosten worden toegewezen over de verschillende klanten op dezelfde route, wordt een kwantitatief onderzoek uitgevoerd. Hiervoor worden databases opgesteld en vervolgens onderzocht. De empirische studie zal uitgevoerd worden in 2 fasen. In de eerste fase zullen de besproken kostenallocatiemethodes worden toegepast. Er wordt vertrokken vanuit de *VRP Spreadsheet Solver* die een rittenplanning zal opstellen. Vervolgens wordt per rit een kostenallocatiemethode toegepast. Zowel de proportionele toewijzing, Shapley, nucleolus, *equal profit method*, *equal charge method*, *alternative cost avoided method* en *cost gap method* komen aan bod. Alle methodes buiten de nucleolus en de *equal profit method* worden berekend via Access aan de hand van *Visual Basic for Applications* (VBA). De *equal profit method* wordt met Lingo berekend en de nucleolus wordt met R berekend. Om te bepalen of een allocatie in de *core* ligt wordt eveneens R gebruikt. De resultaten van de verschillende methodes worden vergeleken en geanalyseerd. Mogelijke patronen, gelijkenissen en/of verschillen worden besproken.

In de tweede fase van de empirische studie zullen de kostenallocatiemethodes onderzocht worden wanneer diverse aspecten zoals tijdsvensters en volumes worden geïntegreerd. Er wordt nagegaan in welke mate tijdsvensters en volumes invloed hebben op de rittenplanning en of bestaande kostenallocatiemethodes reeds rekening houden met tijdsvensters en volumes. Er wordt gekozen om de Shapley waarde te onderzoeken aangezien deze methode één van de meest bestudeerde methodes is in de literatuur en als enige voldoet aan de 4 axioma's. Omwille van gebrek aan literatuur omtrent het integreren van tijdsvensters en volumes bij kostenallocatiemethodes, is gebruik gemaakt van informatie verkregen van 2 transporteurs aan de hand van interviews waarbij ze hun inzichten hebben gedeeld.



## 4.2 Dataset

In de eerste fase van de empirische studie worden 2 datasets gebruikt. Aan de hand van deze 2 datasets worden een 6-tal ritten samengesteld. De klanten zijn gesitueerd binnen België en worden willekeurig gekozen. Het depot is gelegen te Brussel. In tabel 6 is de informatie van de eerste dataset over de verschillende klanten gegeven. De gegevens van dataset 2 worden in bijlage A gevonden.

**TABEL 6: DATASET 1 KLANTEN**

Naam	Adres	<i>Latitude</i>	<i>Longitude</i>	Tijdsvenster start - stop	Service- tijd	Bezorg- hoeveelheid (%)
DEPOT	Brussel	50,84553528	4,355707169	0:00 - 23:59		
Klant 1	Gent	51,05381775	3,722271919	0:00 - 23:59	0:30	0
Klant 2	Oostende	51,22516251	2,913826942	0:00 - 23:59	0:30	0
Klant 3	Dinant	50,26066208	4,912174225	0:00 - 23:59	0:30	0
Klant 4	Diepenbeek	50,90778351	5,419690132	0:00 - 23:59	0:30	0
Klant 5	Hasselt	50,92973328	5,338226795	0:00 - 23:59	0:30	0
Klant 6	Hoepertingen	50,81158447	5,285194874	0:00 - 23:59	0:30	0
Klant 7	Aalst	50,93747711	4,041035175	0:00 - 23:59	0:30	0
Klant 8	Tongeren	50,79240799	5,537490845	0:00 - 23:59	0:30	0
Klant 9	Doornik	50,60555267	3,38786602	0:00 - 23:59	0:30	0
Klant 10	Sint-Niklaas	51,16454697	4,139223099	0:00 - 23:59	0:30	0

De *latitude* en *longitude* worden automatisch door de *VRP Spreadsheet Solver* berekend. Het tijdsvenster wordt nu niet in rekening gebracht. Vandaar dat ingevuld wordt van 00:00 tot en met 23:59. De servicetijd is de tijd hoelang een levering zal duren tijdens een bezoek aan een klant. Deze wordt standaard ingesteld op 30 minuten. In de praktijk zal dit sterk variëren. Hier wordt abstractie van genomen. Tot slot is er de bezorghoeveelheid. Deze wordt uitgedrukt in percentage. Zo kan bijvoorbeeld klant 1 een bezorghoeveelheid van 10 hebben, wat betekent dat het 10 % van de totale vracht zou innemen. Deze wordt ook voor de eerste fase van de empirische studie overal op 0 gezet. Door deze op 0 te zetten, wordt geen rekening gehouden met het volume bij het samenstellen van ritten. In het verdere verloop van de empirische studie worden deze parameters aangepast om de nodige simulaties uit te voeren.

Om deze 10 klanten te beleveren, worden verschillende voertuigen gebruikt. Deze worden weergegeven in tabel 7:

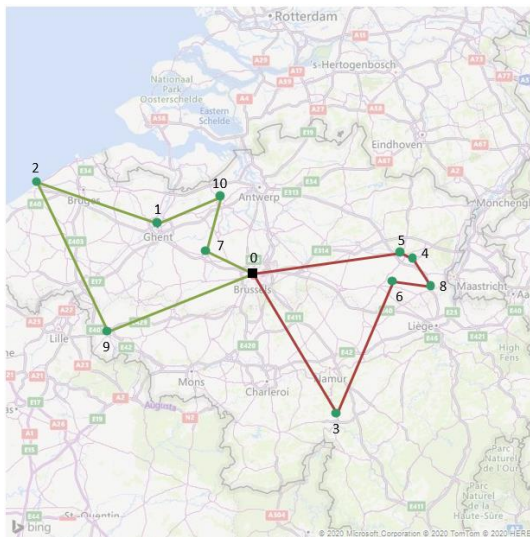
**TABEL 7: DATASET VOERTUIGEN**

	Vaste	Kost per eenheid	Starttijd	Rijtijd	Werktijd	Aantal	
Start	kost (€)	afstand (€)	werk	limiet	limiet	Retour	voertuigen
Depot	0,00	1,00	8:00	9:00	10:00	Depot	5

Er wordt vertrokken vanuit het depot en er wordt na elke rit altijd teruggekeerd naar het depot. De vaste kost om een rit uit te voeren bedraagt € 0,00. De variabele kost, of ook wel de kost per gereden km, is € 1,00 per km. Dit wordt gekozen om de kosten eenvoudig te interpreteren. De starttijd van de chauffeurs is om 8 uur in de ochtend. Ze mogen maximum 9 uur rijden per dag en er is een maximale werktijd van 10 uur per dag. Er zijn 5 beschikbaar voertuigen die de 10 klanten gaan beleveren. Dit wordt standaard op 5 ingesteld aangezien de *VRP Spreadsheet Solver* toch het optimaal aantal voertuigen gaat berekenen.

### 4.3 Rittenplanning

Er wordt gestart met het invoeren van de data afkomstig uit dataset 1 in de *VRP Spreadsheet Solver*. Deze zal vervolgens een rittenplanning opstellen. Op figuur 8 wordt de rittenplanning schematisch weergegeven.



*Figuur 8: Schematische weergave rittenplanning.*

Er wordt een optimale rittenplanning voorgesteld waarbij 2 voertuigen worden gebruikt om de 10 klanten te beleveren. De gegevens van elke rit worden in onderstaande tabellen weergegeven.

**TABEL 8: GEGEVENS RIT 1**

Naam	Afgelegde afstand (km)	Rijtijd	Aankomsttijd	Vertrektijd	Werktijd
Depot	0,00	0:00		08:00	0:00
Klant 5	81,75	0:57	08:57	09:27	1:27
Klant 4	89,26	1:11	09:41	10:11	2:11
Klant 8	107,81	1:25	10:25	10:55	2:55
Klant 6	127,85	1:53	11:23	11:53	3:53
Klant 3	222,62	3:15	13:15	13:45	5:45
Depot	325,86	4:23	14:53		6:53

In de eerste rit wordt vertrokken vanuit het depot en worden in volgorde klant 5, 4, 8, 6 en 3 bediend. Na alle klanten beleverd te hebben, wordt er terug gereden naar het depot. In totaal wordt een afstand afgelegd van 325,86 km. De effectieve rijtijd bedraagt 4 uur en 23 minuten. De aankomst- en vertrektijd worden eveneens weergegeven. Het verschil tussen de 2 is de servicetijd, die standaard ingesteld is op 30 minuten. De werktijd bedraagt 6 uur en 53 minuten. De werktijd bevat zowel de rijtijd als de servicetijd.

**TABEL 9: GEGEVENS RIT 2**

Naam	Afgelegde afstand (km)	Rijtijd	Aankomsttijd	Vertrektijd	Werkijd
Depot	0,00	0:00		08:00	0:00
Klant 9	87,10	1:06	09:06	09:36	1:36
Klant 2	183,50	2:03	10:33	11:03	3:03
Klant 1	252,12	2:46	11:46	12:16	4:16
Klant 10	294,32	3:18	12:48	13:18	5:18
Klant 7	327,24	4:05	14:05	14:35	6:35
Depot	357,59	4:35	15:05		7:05

In tabel 9 worden de gegevens weergegeven van de tweede rit. Ook hier wordt vertrokken en geëindigd in het depot. In volgorde worden klant 9, 2, 1, 10 en 7 bediend. Er wordt een totale afstand afgelegd van 357,59 km. De rijtijd bedraagt 4 uur en 35 minuten. De aankomst- en vertrektijd worden opnieuw weergegeven. De werktijd bedraagt 7 uur en 5 minuten. De totale afstand afgelegd van rit 1 en rit 2 samen bedraagt 683,45 km. De totale werktijd van de 2 ritten samen is 13 uur en 58 minuten.

Voor het berekenen van de afgelegde afstand gebruikt de *VRP Spreadsheet Solver Bing Maps*. *Bing Maps* gaat de rijafstand in kilometers berekenen. Echter moet opgemerkt worden dat de afstand van een klant naar het depot en van het depot naar diezelfde klant een verschillende afstand weergeeft. Dit kan er soms toe leiden dat de totale kost van de grote coalitie lager is dan de kost van een subcoalitie. Dit is niet mogelijk in werkelijkheid. Er wordt toch gekozen om met *Bing Maps* te werken aangezien het slechts enkele kilometers verschil oplevert en dit bijgevolg geen grote verschillen in resultaten geeft bij de verschillende methodes om de kosten toe te wijzen. Er wordt verder niet ingegaan op de exacte berekeningen en codes geschreven in VBA van de *VRP Spreadsheet Solver* omdat dit niet de primaire focus is van deze masterproef.

## 4.4 Kostenallocatiemethodes

In de volgende stap worden de kostenallocaties berekend in Access, R en Lingo. Er worden 2 verschillende datasets met telkens 2 ritten geanalyseerd. Eventuele patronen, gelijkenissen en/of verschillen worden besproken. Eveneens wordt nagegaan of elke allocatie in de *core* ligt of niet.

In bijlage B wordt de gebruikte data gevonden van de verschillende ritten. Deze zijn berekend in Access. De ritsamenstelling en de bijhorende optimale kost kunnen hier teruggevonden worden. De berekeningen van de verschillende methodes zijn gebaseerd op deze kosten.

Vooraleer de resultaten besproken worden, moet er duidelijk worden gesteld dat er geen beste methode is (Guajardo & Rönnqvist, 2016). Het evalueren van een kostenallocatiemethode hangt sterk af van welke beoordelingscriteria als belangrijk worden ervaren. Tevens speelt de eenvoud van berekenen sterk een rol.

## A. Dataset 1

### Rit 1

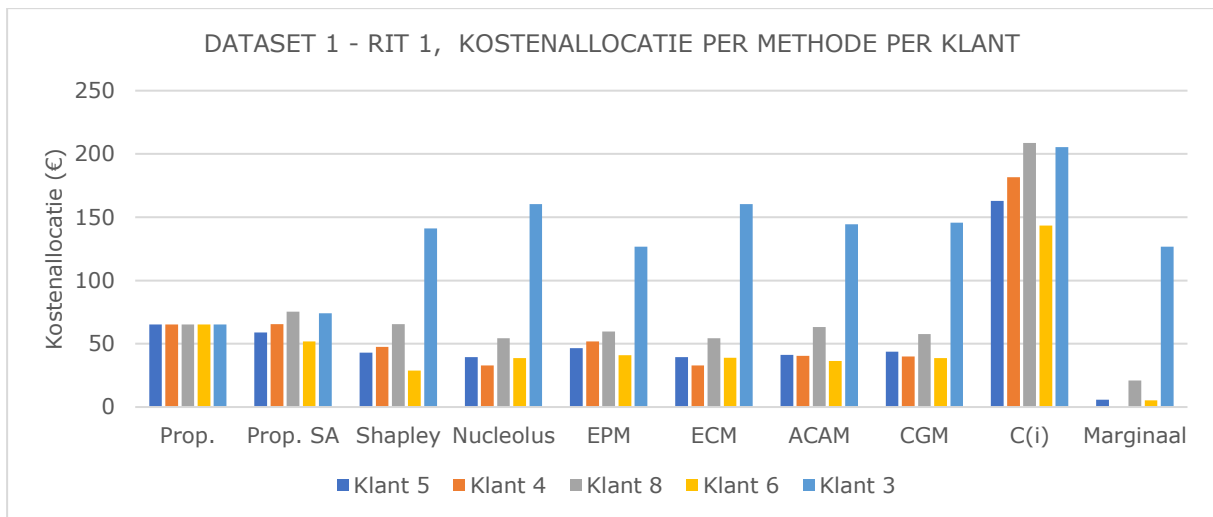
Er wordt gestart met de bespreking van de verschillende allocatiemethodes van dataset 1 rit 1. De resultaten zijn weergegeven in tabel 10.

**TABEL 10: DATASET 1 - RIT 1, KOSTENALLOCATIE PER METHODE PER KLANT**

(in €)	Proportioneel	Proportioneel	Shapley	Nucleolus	EPM	ECM	ACAM	CGM
	(o.b.v. aantal klanten)	(o.b.v. <i>stand-alone</i> kost)						
Klant 5	65,17	58,82	42,87	39,37	46,54	39,37	41,21	43,80
Klant 4	65,17	65,63	47,61	32,96	51,93	32,96	40,50	39,95
Klant 8	65,17	75,35	65,41	54,47	59,63	54,47	63,23	57,64
Klant 6	65,17	51,85	28,77	38,81	41,02	38,82	36,44	38,72
Klant 3	65,17	74,21	141,2	160,24	126,73	160,24	144,47	145,76

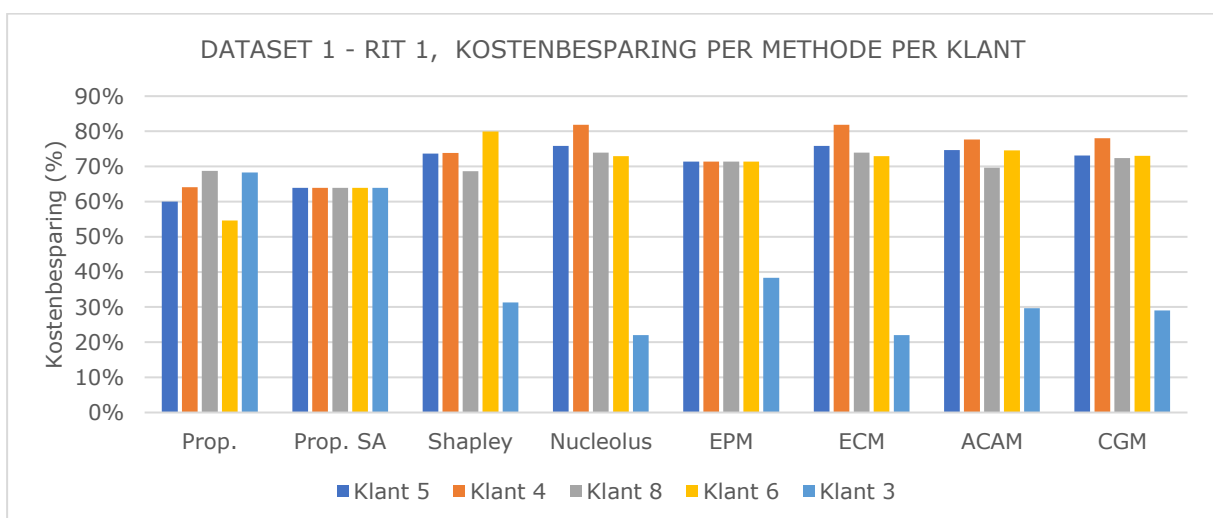
Visueel worden deze gegevens weergegeven aan de hand van figuur 9. Hier worden tevens de *stand-alone* kost ( $C(i)$ ) en de marginale kost per klant mee opgenomen. De marginale kost van klant  $i$  wordt berekend door de kost van de grote coalitie zonder klant  $i$  af te trekken van de kost van de grote coalitie. Zo wordt de toename in kosten verkregen wanneer klant  $i$  zich toevoegt aan de grote coalitie.

$$m_i = C(N) - C(N \setminus \{i\})$$



Figuur 9: Kostenallocatie per methode per rit.

Het eerste wat opvalt bij het bekijken van de resultaten is dat er een zeer gelijkaardige kostenallocatie gevonden wordt behalve bij de proportionele toewijzing. Bij de berekening van proportionele toewijzing op basis van het aantal klanten wordt geen rekening gehouden met zowel de *stand-alone* kost als de marginale kost. Iedereen krijgt hier immers een gelijke kost toegekend. Hierdoor zullen de klanten met de hoogste *stand-alone* kosten (klant 3 en 8) in deze methode er het meest profijt uit halen ten opzichte van wanneer de klanten de ritten afzonderlijk moeten uitvoeren. Bij de berekening van de proportionele toewijzing op basis van de *stand-alone* kost, wordt enkel rekening gehouden met de *stand-alone* kost en niet met de marginale toetredingskost. Bij klant 3 wordt een hogere marginale kost gevonden, maar deze wordt niet opgenomen in de formule van de proportionele toewijzing op basis van *stand-alone* kost waardoor klant 3 hier geen hogere kost toegewezen krijgt zoals bij de andere methodes. Wanneer dan wordt nagegaan of de allocaties van de verschillende methodes in de *core* liggen, wordt gevonden dat alle allocaties in de *core* liggen behalve bij de proportionele toewijzing op basis van het aantal klanten en de *stand-alone* kost. Dit betekent dat bij deze twee laatste methodes de klant een prikkel krijgt om zich los te koppelen van de grote coalitie.



Figuur 10: Kostenbesparing per methode per klant.

Vervolgens wordt in figuur 10 de procentuele kostenbesparing berekend ten opzichte van de *stand-alone* kost per klant en per methode. Dit om na te gaan hoeveel de klant bespaart door aan een gezamenlijke rittenplanning deel te nemen in plaats van de rit afzonderlijk uit te voeren. Het eerste wat opvalt is dat alle klanten hier beter af zijn door aan een gezamenlijke rittenplanning deel te nemen. Ze realiseren allemaal een positieve kostenbesparing. Daarnaast is ook bemerkelijk dat de EPM er niet voor zorgt dat de relatieve besparingen tussen de verschillende klanten gelijk is. Klant 3 realiseert een besparing van slechts 38 %. De overige klanten realiseren een besparing van 71 %. Dit is een groot verschil en is opvallend aangezien de EPM net naar een gelijke relatieve kostenbesparing streeft. Dit is eveneens zichtbaar aan de f-waarde die 0,33 bedraagt. Dit betekent dat het grootste relatieve verschil tussen besparingen van klanten 0,33 bedraagt. Tot slot wordt in figuur 10 ook gevonden dat klant 3 bij alle methodes behalve de proportionele toewijzing minder kosten gaat besparen in vergelijking met de rest van de klanten. Dit lijkt te wijten aan de grote marginale toetredingskost van klant 3.

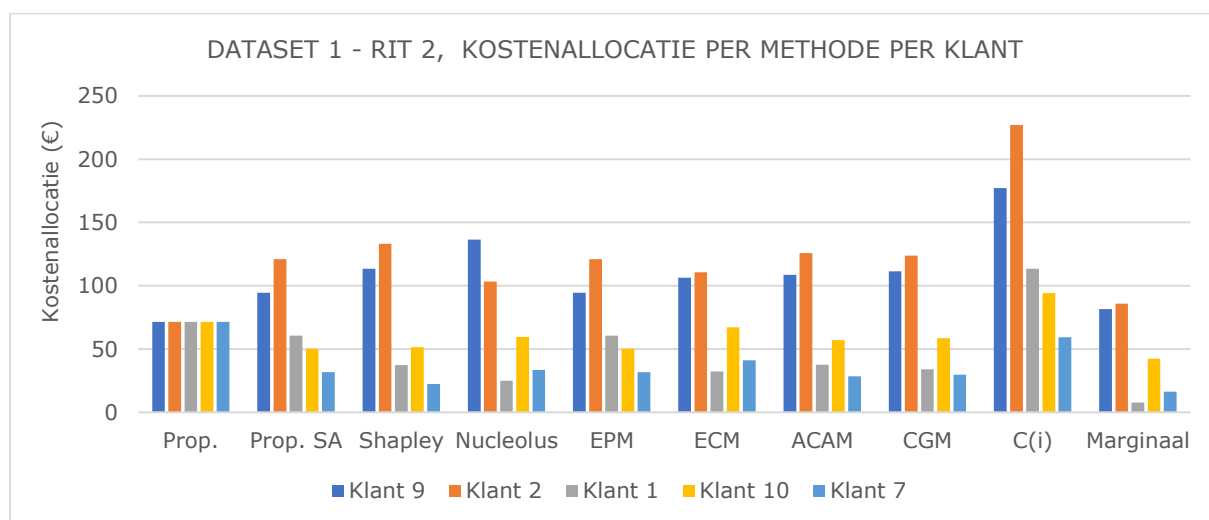
## Rit 2

Vervolgens worden de resultaten van de verschillende kostenallocatiemethodes van dataset 1 rit 2 in tabel 11 weergegeven.

**TABEL 11: DATASET 1 - RIT 2, KOSTENALLOCATIE PER METHODE PER KLANT**

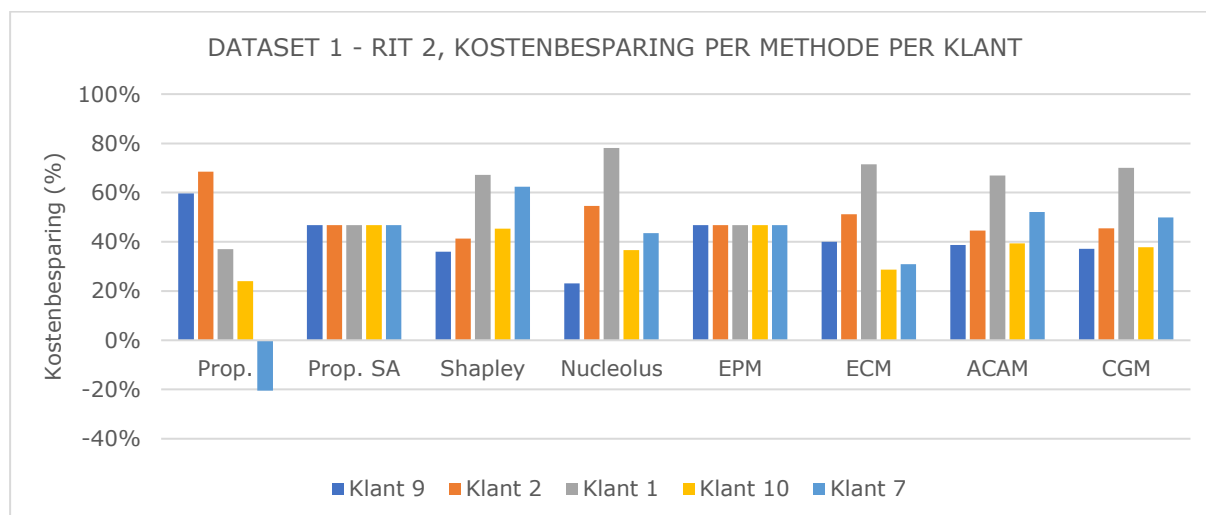
(in €)	Proportioneel	Proportioneel	Shapley	Nucleolus	EPM	ECM	ACAM	CGM
	(o.b.v. aantal klanten)	(o.b.v. <i>stand-alone</i> kost)						
Klant 9	71,52	94,41	113,40	136,39	94,41	106,28	108,60	111,48
Klant 2	71,52	120,92	133,17	103,22	120,92	110,75	125,90	123,73
Klant 1	71,52	60,46	37,28	24,83	60,46	32,35	37,57	34,01
Klant 10	71,52	50,15	51,41	59,64	50,15	67,17	57,04	58,60
Klant 7	71,52	31,64	22,33	33,51	31,65	41,04	28,48	29,77

Deze resultaten worden visueel weergegeven in onderstaand figuur.



Figuur 11: Kostenallocatie per methode per klant.

In figuur 12 wordt de procentuele kostenbesparing gevisualiseerd.



Figuur 12: Kostenbesparing per methode per klant.

De eerste methode die hier opvalt is de proportionele toewijzing op basis van het aantal klanten. Er wordt voor klant 7 namelijk een negatieve kostenbesparing gevonden. De *stand-alone* kost van klant 7 bedraagt € 59,41. Bij de proportionele verdeling bedraagt de kosttoewijzing € 71,52 (tabel 11). Dit wil zeggen dat wanneer klant 7 opgenomen wordt in een gezamenlijke rittenplanning, de kost ongeveer 20 % hoger is dan wanneer de klant individueel zou opereren. Ook is er de proportionele toewijzing op basis van de *stand-alone* kost. Hier wordt een kostenbesparing ten opzichte van de *stand-alone* kost gerealiseerd die voor alle klanten in die specifieke rit gelijk is. Bij het nagaan of de toewijzingen van de methodes in de *core* liggen, wordt gevonden dat alle toewijzingen in de *core* liggen behalve bij de proportionele toewijzing op basis van het aantal klanten. Dit is niet verrassend aangezien er een kans is dat klant 7 zich benadeeld zal voelen bij deze methode. Bij rit 2 zorgt de EPM wel voor een allocatie die elke klant evenveel bevoordeeld. De relatieve besparing is voor elke klant 47 %. Dit wordt bevestigd in de f-waarde. De f-waarde bedraagt immers 0,00 wat erop wijst dat de relatieve besparingen voor alle klanten hetzelfde zijn.

## B. Dataset 2

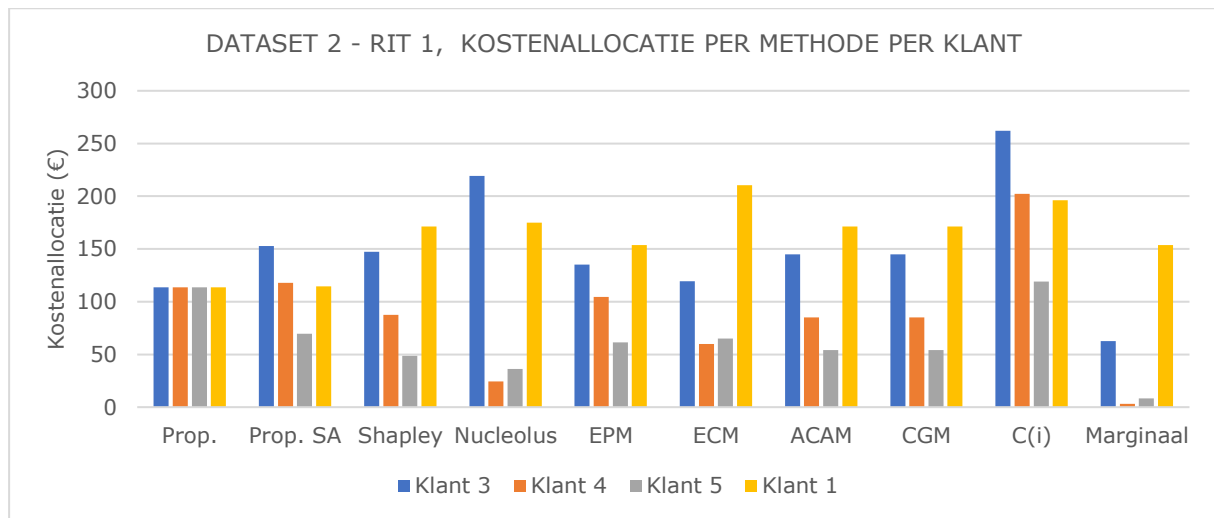
### Rit 1

In tabel 12 worden de kostenallocatiemethodes weergegeven van dataset 2 rit 1.

**TABEL 12: DATASET 2 - RIT 1, KOSTENALLOCATIE PER METHODE PER KLANT**

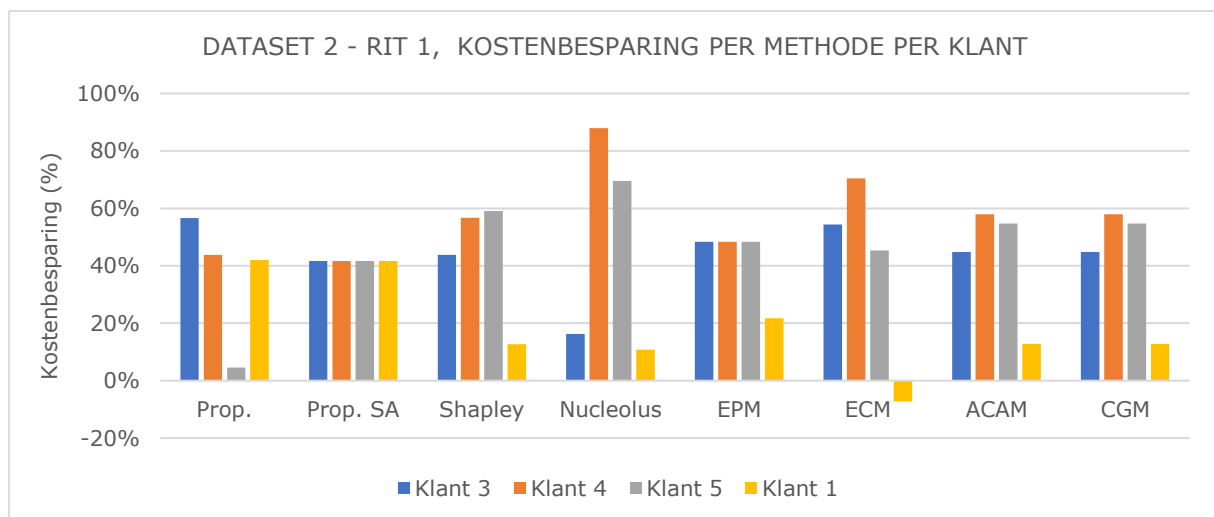
(in €)	Proportioneel	Proportioneel	Shapley	Nucleolus	EPM	ECM	ACAM	CGM
	(o.b.v. aantal klanten)	(o.b.v. <i>stand-alone</i> kost)						
Klant 3	113,76	152,88	147,33	219,40	135,29	119,55	144,75	144,75
Klant 4	113,76	118,03	87,61	24,37	104,45	59,82	85,02	85,02
Klant 5	113,76	69,55	48,75	36,23	61,55	65,17	54,00	54,00
Klant 1	113,76	114,58	171,36	175,05	153,77	210,51	171,28	171,28

Deze resultaten worden weergegeven in figuur 13.



Figuur 13: Kostenallocatie per methode per klant.

Ook de kostenbesparingen worden visueel weergegeven in figuur 14.



Figuur 14: Kostenbesparing per methode per klant.

Hier wordt gevonden dat klant 1 bij de ECM een negatieve kostenbesparing heeft. Dit wil zeggen dat het duurder is voor klant 1 om deze gezamenlijke rittenplanning uit te voeren dan wanneer de klant individueel opereert en dus zelf de rit uitvoert. Bij de ECM wordt bij de deelbare kosten rekening gehouden met de marginale kosten. De niet-deelbare kosten worden gelijk verdeeld over het aantal klanten. De *stand-alone* kosten worden dus niet in rekening gebracht. De marginale kost bij klant 1 is net heel groot en dit verklaart waarom er zo een hoge kost wordt gealloceerd aan klant 1. Bij de ACAM en CGM wordt een gewicht bepaald om de niet-deelbare kosten te verdelen. Dit gewicht is gebaseerd op de *stand-alone* kosten. Dit zorgt ervoor dat de ACAM en CGM hier wel een positieve kostenbesparing opleveren. De allocaties bij de ECM liggen dan ook niet in de *core* samen met de proportionele toewijzing op basis van het aantal klanten en de *stand-alone* kost. Daarnaast is ook te zien dat klant 1 bij alle methodes behalve de proportionele toewijzing opvallend minder gaat



besparen. Dit lijkt opnieuw te wijten aan de hoge marginale kosten van klant 1. Figuur 14 toont eveneens aan dat ook hier de EPM geen gelijkwaardige kostenbesparing voorziet. Klant 1 heeft een relatieve kostenbesparing van 22 % en de overige klanten van 48 %.

## Rit 2

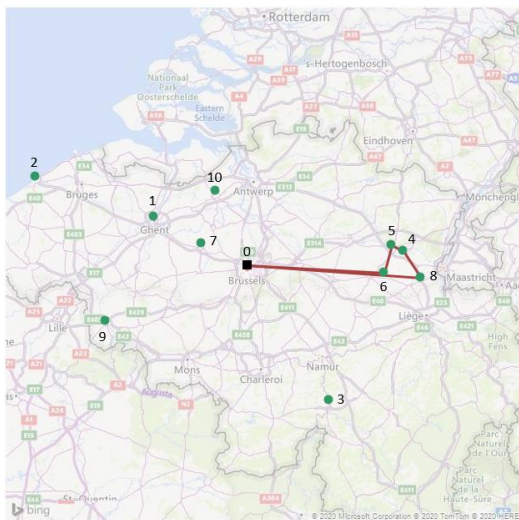
De uitwerking van deze rit wordt niet opgenomen in deze masterproef aangezien hier geen nieuwe conclusies worden uitgetrokken. Deze bevestigen enkel voorgaande resultaten.

### C. Extreme gevallen

In de volgende stap wordt er gewerkt met extreme gevallen. Dit wordt gedaan om een beter inzicht te verwerven in de verschillende allocatiemethodes. De data is afkomstig uit dataset 1. Er worden willekeurige ritten samengesteld. Deze ritten zijn dus niet aanbevolen geweest door de *VRP Spreadsheet Solver*, maar bevatten wel een optimale ritvolgorde.

## Rit 1

De eerste rit is een rit waarvan de klanten zeer gelijkaardig zijn. Hiermee wordt bedoeld dat de afstand tot het depot en de afstand van de klanten ten opzichte van elkaar redelijk gelijk zijn. Er wordt een rit samengesteld van klant 5, 4, 8 en 6. Deze is grafisch te zien in figuur 15. De bijhorende resultaten van de verschillende kostenallocatiemethodes worden weergegeven in tabel 13.

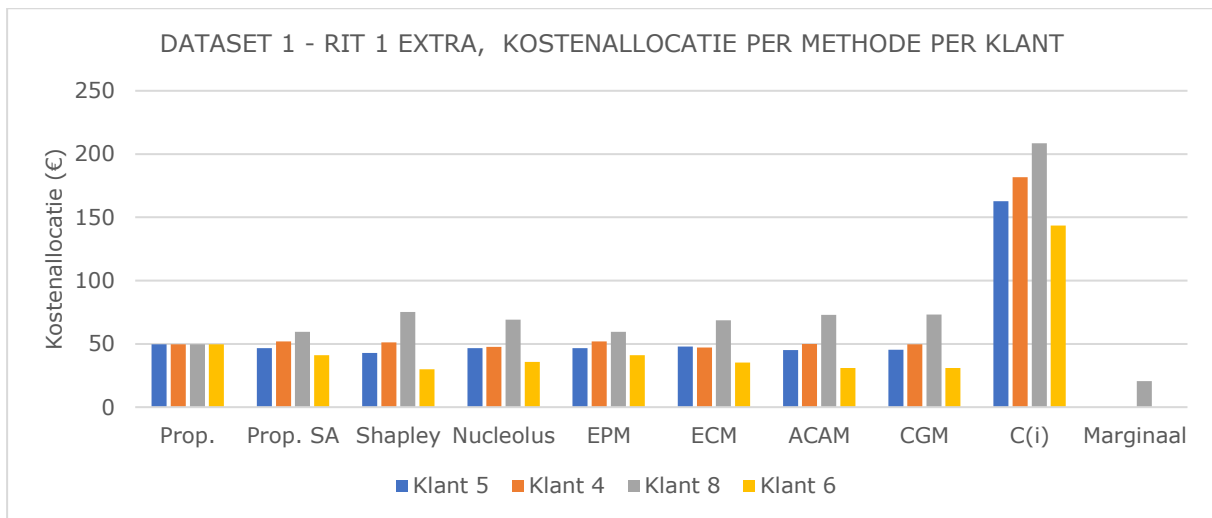


Figuur 15: Schematische weergave ritsamenstelling.

**TABEL 13: DATASET 1 - RIT 1 EXTRA, KOSTENALLOCATIE PER METHODE PER KLANT**

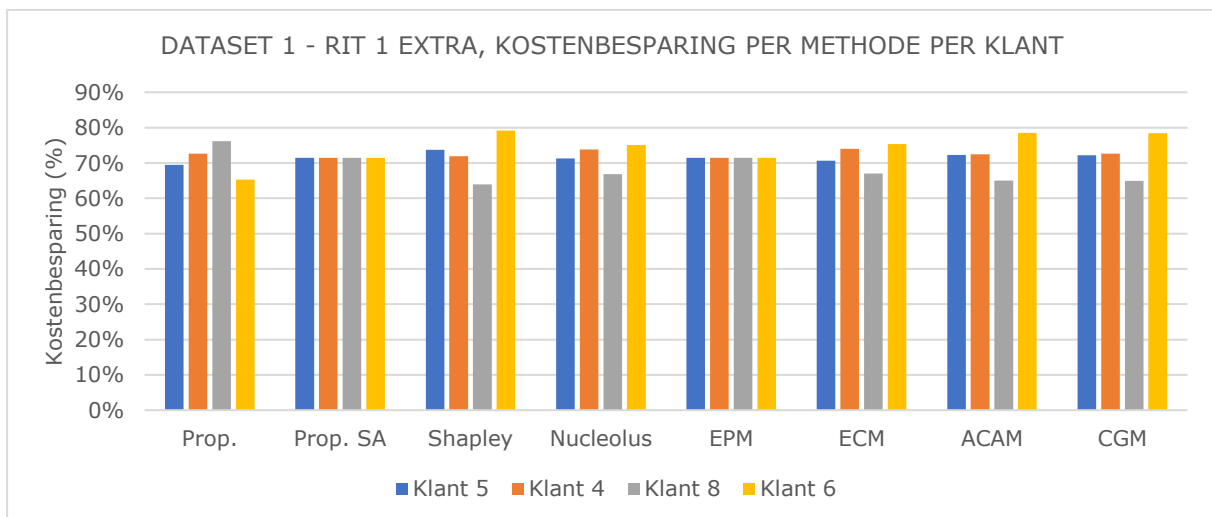
(in €)	Proportioneel	Proportioneel	Shapley	Nucleolus	EPM	ECM	ACAM	CGM
	(o.b.v. aantal klanten)	(o.b.v. <i>stand-alone</i> kost)						
Klant 5	49,78	46,54	42,86	46,70	46,54	47,78	45,19	45,32
Klant 4	49,78	51,93	51,08	47,60	51,93	47,24	50,03	49,75
Klant 8	49,78	59,63	75,31	69,11	59,63	68,75	73,04	73,07
Klant 6	49,78	41,02	29,87	35,72	41,02	35,36	30,86	30,98

Visueel geeft dit de volgende figuur:



Figuur 16: Kostenallocatie per methode per klant.

Wanneer er gelijkaardige klanten zijn in een rit wordt gevonden dat de proportionele toewijzing leidt tot goede resultaten. Elke methode vertoont hier zeer gelijke resultaten voor elke klant. Wanneer dit zich voordoet, is het eenvoudig om een allocatiemethode te kiezen aangezien ze allemaal positieve resultaten opleveren. Bij deze rit liggen niet onverwachts van alle methodes de allocaties in de core. Bij geen enkele methode zal dus één van de klanten een prikkel krijgen om zich los te koppelen van de grote coalitie. De allocaties zijn hier dus stabiel.

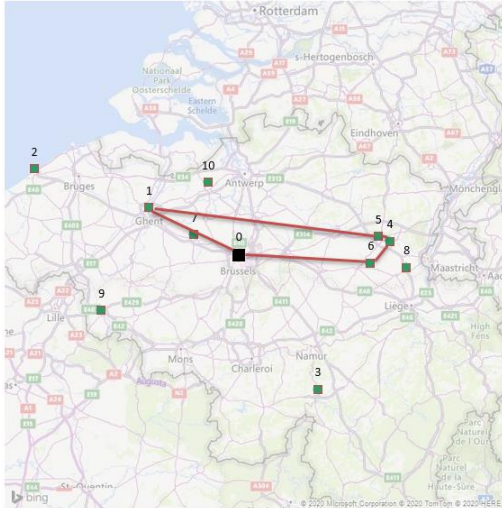


Figuur 17: Kostenbesparing per methode per klant.

Opvallend is dat de EPM zorgt voor een gelijke relatieve kostenbesparing. Daarnaast is zichtbaar op figuur 17 dat er voor alle methodes zeer grote kostenbesparingen worden gerealiseerd. Zo is er ongeveer een kostenbesparing van 70 %. Bij voorgaande gevallen lag dit percentage dikwijls lager.

## Rit 2

De volgende rit is zo samengesteld dat 1 klant ervoor zorgt dat er een grote omweg gereden moet worden. Dit is klant 1 in dataset 1. De overige klanten: 4, 5 en 6 zijn geclusterd. De ritsamenstelling is zichtbaar in figuur 18.



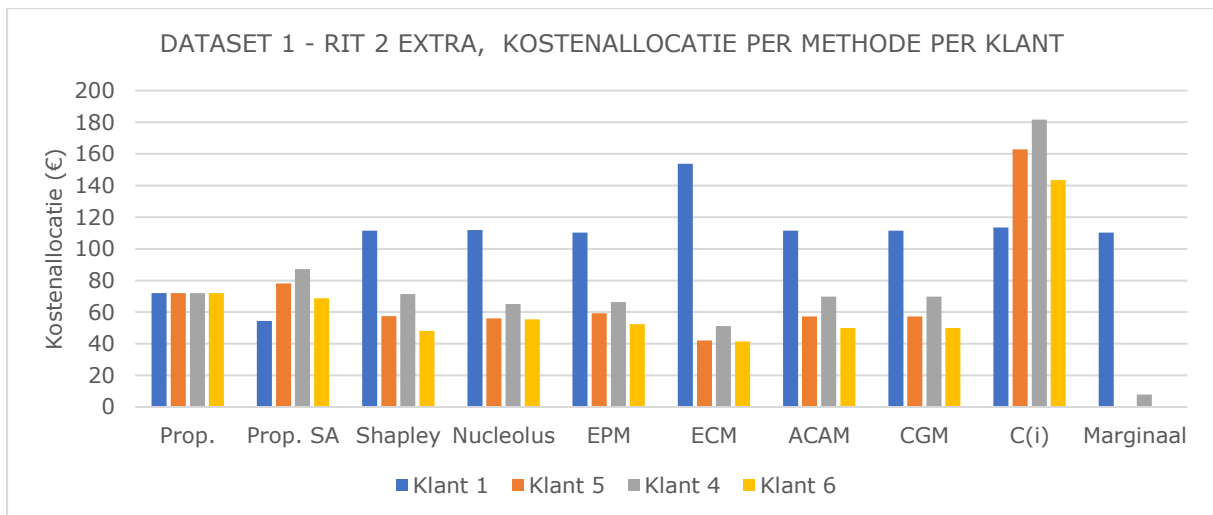
Figuur 18: Schematische weergave ritsamenstelling.

Dit leidt tot de resultaten beschreven in tabel 14.

**TABEL 14: DATASET 1 - RIT 2 EXTRA, KOSTENALLOCATIE PER METHODE PER KLANT**

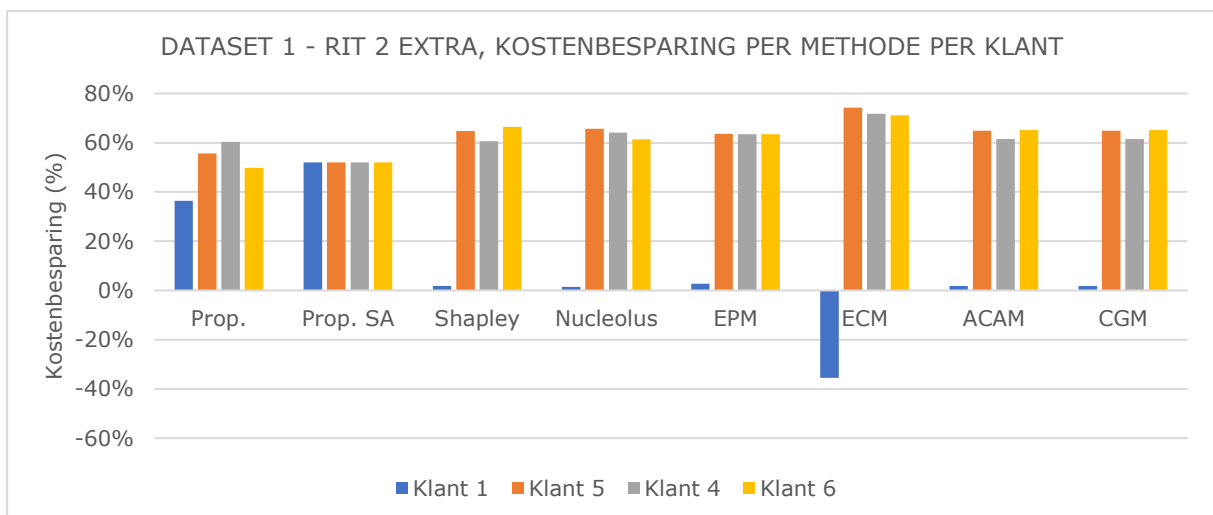
(in €)	Proportioneel	Proportioneel	Shapley	Nucleolus	EPM	ECM	ACAM	CGM
	(o.b.v. aantal klanten)	(o.b.v. <i>stand-alone</i> kost)						
Klant 1	72,12	54,43	111,43	111,92	110,33	153,78	111,46	111,46
Klant 5	72,12	78,09	57,44	55,96	59,35	42,01	57,20	57,21
Klant 4	72,12	87,14	71,49	65,20	66,33	51,25	69,88	69,85
Klant 6	72,12	68,84	48,13	55,42	52,40	41,46	49,96	49,97

Deze resultaten worden visueel weergegeven in figuur 19.



Figuur 19: Kostenallocatie per methode per klant.

Ook de kostenbesparing ten opzichte van de *stand-alone* kost wordt opnieuw geïllustreerd.



Figuur 20: Kostenbesparing per methode per klant.

Op figuur 20 is zichtbaar dat de gerealiseerde kostenbesparing bij EPM van klant 1 veel lager is dan de overige klanten. De f-waarde is hier ook groot, namelijk 0,61. Dit lijkt tevens te verklaren waarom dit bij voorgaande resultaten het geval is. De EPM lijkt voornamelijk bij ritten waar er een grote omweg gereden moeten worden, geen gelijke relatieve kostenbesparing te realiseren. Opvallend aan deze figuur 20 is dat ECM zorgt voor een negatieve kostenbesparing. Voor klant 1 zal het duurder zijn om beleverd te worden met de gezamenlijke rittenplanning dan wanneer de klant de rit afzonderlijk zou uitvoeren. De oorzaak hiervan is te vinden in het feit dat klant 1 een hoge marginale kost heeft en een lagere *stand-alone* kost in vergelijking met de andere klanten en de *stand-alone* kost wordt bij de ECM niet in rekening gebracht. Hier wordt tot slot gevonden dat bij alle methodes de allocaties in de *core* liggen behalve bij de proportionele toewijzing op basis van het aantal klanten, de *stand-alone* kost en de ECM.

## Conclusie

Er kan geconcludeerd worden dat de proportionele toewijzing op basis van het aantal klanten de makkelijkste methode is op vlak van berekenen, maar dat klanten hier vaak nadelig uitkomen. De gealloceerde kost van de gezamenlijke rittenplanning kan hoger zijn dan de kost van de afzonderlijke rit van die klant. Dit zorgt ervoor dat de klant een oneerlijke kost toegewezen krijgt en daardoor loopt een logistieke dienstverlener het risico dat de klant elders prijs gaat vragen wanneer de prijszetting wordt gedaan aan de hand van de gealloceerde kosten. Dit geldt tevens voor de ECM. Wanneer de klanten gelijkaardig zijn in die zin dat de afstand tot elkaar en de afstand van de klant tot het depot ongeveer gelijk is, dan zijn deze methodes wel aangeraden.

Naar verwachting zou de EPM een toewijzing moeten opleveren waarbij iedere klant zijn relatieve kostenbesparing gelijk is. In de onderzochte datasets was vaak te vinden dat dit niet het geval is. Voornamelijk wanneer er een klant is op de rit die ervoor zorgt dat er een grote omweg gemaakt moet worden. Dit kan te wijten zijn aan het feit dat er geen verdeling mogelijk is waarbij er zowel een gelijke relatieve kostenbesparing wordt gerealiseerd als een stabiele allocatie wordt gevonden. Er kan geconcludeerd worden dat deze methode wel aan te raden is wanneer de klanten zeer gelijkaardig zijn of dat er geen klant is op de rit die ervoor zorgt dat er een grote omweg moet worden gemaakt.

De Shapley methode biedt tal van voordelen, maar vergt heel wat calculatiewerk. Dit is nogmaals gebleken bij het programmeren. De tijd om de Shapley waardes te berekenen loopt snel op. Tot 7 klanten is dit nog binnen een redelijke tijdsspanne te berekenen, hiervoor zijn 35280 berekeningen nodig. Bij 8 klanten zijn 322560 berekeningen nodig. De marginale kosten voor elke klant aan elke mogelijke coalitie moeten immers worden nagegaan. In realiteit kan dit zorgen voor de nodige problemen aangezien er vaak veel klanten worden beleverd per rit.

Ondanks dat tal van methodes geen garantie bieden op stabiliteit, wordt ondervonden dat er toch veel allocatiemethodes een resultaat geven waarvan de allocaties in de *core* liggen en dus stabiel zijn. De methodes die het vaakst geen stabiliteit garanderen zijn de proportionele toewijzing op basis van het aantal klanten en de *stand-alone* kost. Dit wordt tevens bevestigd in de paper van Guajardo & Rönnqvist (2016).

## 4.5 Kostenallocatiemethodes met tijdsvensters

In de tweede fase van de empirische studie worden tijdsvensters toegevoegd aan de rittenplanning. Vervolgens worden de kosten gealloceerd aan de klanten. Met andere woorden, wordt in deze sectie nagegaan hoe klanten, die specifieke eisen hebben met betrekking tot het tijdsvenster waartussen een levering mag plaatsvinden, op een zo eerlijk mogelijke manier kosten worden aangerekend.

Eerst wordt onderzocht welk effect het integreren van tijdsvensters heeft op de rittenplanning. Vervolgens wordt nagegaan hoe bestaande kostenallocatiemethodes, die bestudeerd zijn in de literatuurstudie, omgaan met tijdsvensters. Wordt er rekening gehouden met tijdsvensters in de kostenallocatiemethodes en hoe? Tot slot wordt een nieuwe intuïtieve methode uitgewerkt die tracht kostenallocatiemethodes aan te passen om beter om te gaan met tijdsvensters.

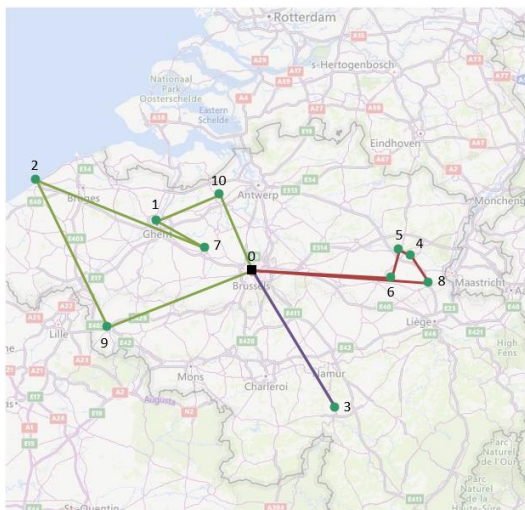
## 4.5.1 Rittenplanning

Er wordt gestart met een voorbeeld dat het effect zal illustreren van het opleggen van tijdsvensters op de rittenplanning. Hetzelfde voorbeeld als in tabel 6 wordt gebruikt. Enkel met dit verschil dat er nu tijdsvensters worden toegevoegd. In tabel 15 worden de gegevens weergegeven.

**TABEL 15: DATASET KLANTEN**

Naam	Adres	Latitude	Longitude	Tijdsvenster start - stop	Service- tijd	Bezorg- hoeveelheid (%)
DEPOT	Brussel	50,84553528	4,355707169	0:00 - 23:59		
Klant 1	Gent	51,05381775	3,722271919	09:00 - 12:00	0:30	0
Klant 2	Oostende	51,22516251	2,913826942	14:30 - 17:30	0:30	0
Klant 3	Dinant	50,26066208	4,912174225	08:00 - 11:30	0:30	0
Klant 4	Diepenbeek	50,90778351	5,419690132	14:00 - 16:30	0:30	0
Klant 5	Hasselt	50,92973328	5,338226795	08:00 - 11:00	0:30	0
Klant 6	Hoepertingen	50,81158447	5,285194874	09:00 - 11:00	0:30	0
Klant 7	Aalst	50,93747711	4,041035175	11:00 - 15:00	0:30	0
Klant 8	Tongeren	50,79240799	5,537490845	15:00 - 17:00	0:30	0
Klant 9	Doornik	50,60555267	3,387866602	15:00 - 17:30	0:30	0
Klant 10	Sint-Niklaas	51,16454697	4,139223099	08:00 - 11:00	0:30	0

Het geheel wordt berekend via de *VRP Spreadsheet Solver* en de volgende rittenplanning wordt verkregen:



*Figuur 21: Schematische weergave rittenplanning.*

De 10 klanten worden nu beleverd met 3 voertuigen in plaats van 2 voertuigen. In onderstaande tabellen worden de gegevens per rit beschreven.

**TABEL 16: GEGEVENS RIT 1**

Naam	Afgelegde afstand (km)	Rijtijd	Aankomsttijd	Vertrektijd	Werktijd
Depot	0,00	0:00		08:00	0:00
Klant 6	72,26	1:05	09:05	09:35	1:35
Klant 5	91,17	1:28	09:58	10:28	2:28
Klant 4	98,69	1:42	<b>10:42</b>	14:30	6:30
Klant 8	117,23	1:56	<b>14:44</b>	15:30	7:30
Depot	221,42	3:00	16:34		8:34

**TABEL 17: GEGEVENS RIT 2**

Naam	Afgelegde afstand (km)	Rijtijd	Aankomsttijd	Vertrektijd	Werktijd
Depot	0,00	0:00		08:00	0:00
Klant 10	47,13	0:48	08:49	09:19	1:19
Klant 1	87,69	1:19	09:49	10:19	2:19
Klant 7	121,45	1:48	<b>10:48</b>	11:30	3:30
Klant 2	210,66	2:40	<b>12:22</b>	15:00	7:00
Klant 9	306,58	3:39	15:59	16:29	8:29
Depot	396,72	4:42	17:32		9:32

**TABEL 18: GEGEVENS RIT 3**

Naam	Afgelegde afstand (km)	Rijtijd	Aankomsttijd	Vertrektijd	Werktijd
Depot	0,00	0:00		08:00	0:00
Klant 3	102,23	1:07	09:07	09:37	1:37
Depot	205,47	2:15	10:45		2:45

Roodgemarkeerde getallen duiden aan dat er gewacht moet worden vooraleer een levering mag plaatsvinden omdat er anders geleverd zou worden buiten het verkozen tijdsvenster.

In de situatie zonder tijdsvensters werd een totale afstand van de 2 ritten samen gevonden van 683,45 km. De totale werktijd bedroeg 13 uur en 58 minuten. Wanneer dit wordt berekend voor de situatie met tijdsvensters wordt een totale afstand gevonden van 823,61 km en een totale werktijd van 20 uur en 51 minuten. De extra werktijd die wordt veroorzaakt door tijdsvensters op te leggen bedraagt 6 uur en 53 minuten. Een deel hiervan wordt veroorzaakt door de extra afstand en een deel door wachttijden, deze wachttijden bedragen 5 uur en 54 minuten. Doordat er dus eisen worden toegevoegd met betrekking tot tijdsvensters waarbinnen moet worden geleverd, wordt een extra afstand gereden van 140,16 km en wordt er 5 uur en 54 minuten gewacht. Deze extra gereden kilometers en de wachttijden moeten worden doorgerekend als een extra kost aan de klanten.

Er wordt geconcludeerd dat tijdsvensters de gevolgde route kunnen beïnvloeden. Door het opleggen van tijdsvensters, wordt een nieuwe ritsamenstelling verkregen waarbij de afstand kan toenemen. Daarnaast ontstaan er wachttijden wanneer er gewacht dient te worden vooraleer een levering mag

plaatsvinden. Hierdoor kunnen de totale kosten toenemen en is het noodzakelijk dat bij de kostentoe wijzing hier rekening mee gehouden wordt.

## 4.5.2 Bestaande kostenallocatiemethodes

In de volgende sectie wordt onderzocht of bestaande kostenallocatiemethodes rekening houden met de extra kosten veroorzaakt door tijdsvensters. Om dit te onderzoeken wordt de Shapley methode gekozen. Zoals daarnet aangetoond is een tijdsvenster een aspect dat de gevolgde route kan beïnvloeden. Doordat de ritsamenstelling verandert ten gevolge van het toepassen van tijdsvensters, is het niet mogelijk om het effect van tijdsvensters op de kostentoe wijzing te onderzoeken op ritniveau. Daarom wordt gekeken naar het effect van tijdsvensters op de gehele dataset. Dataset 1 wordt gecombineerd met dataset 2 om een grotere dataset te verkrijgen met meer klanten. Deze dataset is nog steeds erg klein in vergelijking met hoe het in de praktijk verloopt. Hoe meer klanten, hoe efficiënter een rittenplanning kan worden opgesteld waardoor de extra kosten veroorzaakt door de extra afstand en wachttijden sterk zullen dalen (Eren Akyol & De Koster, 2018).

Bij het berekenen van de kosten van alle mogelijke subcoalities wordt abstractie gemaakt van het feit dat de optimale volgorde in een rit en de ritsamenstelling kan veranderen ten gevolge van het opleggen van tijdsvensters. De kosten berekenen voor alle subcoalities zou te complex zijn. Wanneer er naar een optimale subcoalitie wordt gezocht, zal immers de ritvolgorde veranderen door zowel tijdsvensters als afstand, maar er kunnen ook andere ritten gevormd worden. Wanneer er bijvoorbeeld wordt gezocht naar de kost van de subcoalitie van klant 2 en 3 zonder 1, kan het zijn dat er een andere rittenplanning wordt opgesteld. Mogelijk kan voor klant 2 en 3 een coalitie gevormd worden met andere klanten die beter passen in het tijdschema.

De Shapley waarde wordt in tabel 19 berekend in een situatie zonder tijdsvensters, in een situatie met smalle tijdsvensters, in een situatie met gevarieerde tijdsvensters en in een situatie met brede tijdsvensters. Per situatie wordt in tabel 19 de rit waartoe de klant behoort, de duur van het tijdsvenster alsook de Shapley waarde per klant weergegeven. De gemiddelde tijdsduur voor de situatie met smalle tijdsvensters bedraagt 2 uur en 18 minuten, met gevarieerde tijdsvensters 5 uur en met brede tijdsvensters 6 uur en 6 minuten. Een tijdsduur van 9 uur houdt in dat er geen tijdsvenster wordt opgelegd door de klant.

**TABEL 19: ZONDER TIJDSVENSTER VS. SMAL, GEVARIIEERD EN BREED TIJDSVENSTER**

Naam	Zonder tijdsvenster		Smal tijdsvenster			Gevarieerd tijdsvenster			Breed tijdsvenster		
	Rit	Shapley (€)	Rit	Duur (u)	Shapley (€)	Rit	Duur (u)	Shapley (€)	Rit	Duur (u)	Shapley (€)
Klant 1	5	54,77	3	9	41,43	3	9	36,57	2	9	36,57
Klant 2	3	77,11	3	2	106,15	3	9	77,07	2	9	77,07
Klant 3	2	127,53	4	2	127,53	2	9	112,35	6	9	122,69
Klant 4	4	49,28	6	2	65,07	7	9	72,45	1	9	48,99
Klant 5	4	41,43	5	1	84,33	7	1	54,94	1	4	42,17



Klant 6	6	63,10	6	1	49,00	1	1	89,15	5	4	63,15
Klant 7	5	18,44	3	1	19,85	5	1	21,60	3	4	21,60
Klant 8	4	83,27	5	1	127,90	4	2	98,17	1	4	82,40
Klant 9	3	79,98	5	1	108,30	6	2	128,10	6	4	125,90
Klant 10	5	36,17	1	2	50,36	5	3	43,15	3	5	43,15
Klant 11	4	82,17	6	2	89,88	7	3	92,76	1	5	82,58
Klant 12	1	279,54	2	2	280,06	2	4	293,70	4	5	279,54
Klant 13	3	94,44	5	1	193,19	3	5	112,01	2	5	112,01
Klant 14	3	60,64	3	2	81,40	3	5	60,96	2	5	60,96
Klant 15	5	43,26	1	1	75,35	5	4	59,06	3	5	59,06
Klant 16	6	47,75	6	2	47,73	4	9	47,65	5	9	47,80
Klant 17	1	169,00	2	2	169,53	4	9	163,89	4	9	169,00
Klant 18	2	147,20	4	9	147,20	6	9	176,01	6	9	110,37
Klant 19	6	24,86	7	1	54,06	1	2	33,48	5	4	24,75
Klant 20	6	25,80	7	2	43,01	1	4	31,67	5	5	25,81
		1605,74			1961,33			1804,74			1635,57

Uit tabel 19 kan geconcludeerd worden dat de grootste afstand (en eveneens kost) wordt veroorzaakt in de situatie met smalle tijdvensters. De totale afstand bedraagt 1961,33 km. De kleinste afstand wordt veroorzaakt in de situatie met brede tijdvensters. Deze afstand bedraagt 1635,57 km. Zo wordt vastgesteld dat klanten met een smaller tijdsvenster (minder flexibele klanten) een grotere kans hebben om extra afgelegde kilometers te veroorzaken. Hoe breder het tijdsvenster, hoe minder groot de kans dat de klant de extra afstand gaat veroorzaken. Hieruit volgt dat klanten met een smaller tijdsvensters meer verantwoordelijk moeten worden gesteld voor de extra gereden kilometers.

Uit tabel 19 is af te leiden dat de extra gereden kilometers in rekening worden gebracht door de Shapley methode. De kosten worden immers opnieuw berekend en er vindt een nieuwe verdeling van de totale kost over de klanten plaats. Klant 1 zal bij alle tijdvensters minder kosten worden toegewezen omdat de marginale toetredingskosten zijn afgenomen bij de nieuwe ritsamenstelling ten opzichte van de situatie zonder tijdvensters. Bij het gevarieerd en breed tijdsvenster blijft bij klant 1 de Shapley gelijk aangezien er geen wijziging is in ritsamenstelling. Klant 2 daarentegen zal bij het smalle tijdsvenster € 29,04 meer kosten toegewezen krijgen dan voorheen omdat de marginale toetredingskosten zijn toegenomen bij de nieuwe ritsamenstelling. De oorzaak dat klant 2 meer kosten toegewezen krijgt, is enkel te wijten aan de nieuwe ritsamenstelling die wordt gevonden, niet door het tijdsvenster dat wordt opgelegd. Bij klant 6, die een smal tijdsvenster oplegt van 1 uur, wordt een daling gevonden van de kost. Mocht het in rekening brengen van tijdsvenster correct worden toegepast, zou een stijging van de kost verwacht worden. De extra afstand wordt dus wel in rekening gebracht, maar dit lijkt op een oneerlijke manier verdeeld te worden. Zo zal bijvoorbeeld klant 13 bij het gevarieerd tijdsvenster een grote extra kost van € 17,57 toegewezen krijgen in vergelijking met de andere klanten. Het tijdsinterval van leveren bedraagt 5 uur. Klant 7 daarentegen zal slechts een extra kost van € 3,16 toegewezen krijgen terwijl deze klant een smaller tijdsvenster oplegt van slechts 1 uur. Dit lijkt oneerlijk aangezien klant 13 flexibeler is en er dus een

lagere kans is dat deze klant de extra afstand veroorzaakt. Klant 7 daarentegen, die zich minder flexibel opstelt, heeft een grotere kans om de extra gemaakte kilometers te veroorzaken. Dit wordt eveneens besproken in het onderzoek van Vanovermeire en Sörensen (2014). Ze beschrijven dat om een rechtvaardige kostenallocatie te verkrijgen, flexibele klanten het meest moeten worden beloond.

Daarnaast moet ook opgemerkt worden dat de bestudeerde kostenallocatiemethodes geen rekening houden met de mogelijke wachttijden die ontstaan door het opleggen van tijdsvensters. Dit is een grote kost die niet zomaar vergeten mag worden. Andere inefficiënties die het integreren van tijdsvensters met zich meebrengen worden tevens niet in acht genomen zoals het risico op het missen van een mogelijk tijdslot, klanten die de logistieke dienstverlener nog langer laten wachten dan reeds ingecalculeerd en het betalen van boetes wanneer een tijdsvenster niet gerespecteerd wordt.

Het in rekening brengen van tijdsvensters bij kostenallocatie is noodzakelijk. Daarvoor moeten bestaande kostenallocatiemethodes aangepast worden. Er wordt bij de Shapley methode rekening gehouden met de extra afgelegde kilometers, maar het lijkt dat deze op een oneerlijke manier verdeeld worden bij het toepassen van tijdsvensters. Klanten met een smal tijdsvenster, die zich minder flexibel opstellen en een grotere kans hebben op het veroorzaken van de extra afstand, krijgen dikwijls geen hogere kost toegewezen bij de onderzochte Shapley methode. Daarnaast worden wachttijden en inefficiënties die tijdsvensters met zich meebrengen niet opgenomen in de bestudeerde methodes. Het is dus noodzakelijk dat kostenallocatiemethodes worden aangepast wanneer tijdsvenster worden geïntegreerd zodanig dat er een eerlijke kostenverdeling plaatsvindt over de verschillende klanten.

### 4.5.3 Nieuwe intuïtieve kostenallocatiemethode

Nu de noodzaak van het aanpassen van bestaande kostenallocatiemethodes bij integreren van tijdsvensters geïllustreerd is, wordt in deze sectie onderzocht hoe de kostenallocatiemethodes aangepast kunnen worden. Hierbij wordt rekening gehouden dat een eerlijke kostenallocatie wordt verkregen wanneer flexibele klanten het meest worden beloond. Aangezien de literatuur omtrent het toevoegen van tijdsvensters aan kostenallocatiemethodes desbetreffend beperkt is, zal getracht worden een nieuwe intuïtieve methode te ontwikkelen aan de hand van informatie verkregen uit interviews. Deze methode doorloopt enkele stappen. Er wordt per stap een voorbeeld uitgewerkt waarbij opnieuw de samengestelde dataset van 1 en 2 wordt gebruikt met een gevarieerd tijdsvenster. In bijlage C wordt deze samengestelde dataset teruggevonden.

#### **STAP 1: Totale extra kosten**

In de eerste stap worden de totale extra kosten veroorzaakt door het opleggen van tijdsvensters van klanten berekend. Zoals reeds gesteld worden de voornaamste kosten veroorzaakt door enerzijds extra afgelegde kilometers en anderzijds de wachttijd die ermee gepaard gaat. De extra kost gerealiseerd door de extra afstand wordt vermenigvuldigd met € 1 per km. De extra uurkost voor het wachten bedraagt € 35 per uur. Per dataset zal de verhouding variëren tussen de extra afstand die wordt afgelegd en de wachttijd.

In het voorbeeld wordt gevonden dat de extra kost omwille van afstand € 190,29 bedraagt en de extra kost omwille van wachttijd € 175,58 (er moet 301 minuten gewacht worden in totaal over de verschillende klanten). Dit is respectievelijk 52 % en 48 % van de totale extra kost die wordt gemaakt.

**TABEL 20: TOTAAL EXTRA KOST**

Extra kost afstand (€)	190,29	52 %
Extra kost wachttijd (€)	175,58	48 %
Totaal extra kost	365,87	100 %

## STAP 2: Verdeel totale extra kosten over klanten

In de tweede stap worden de totale extra kosten veroorzaakt door tijdsvensters verdeeld over de klanten die een tijdsvenster opleggen. Het aanbieden van tijdsvensters aan de klant is een service. Klanten moeten betalen voor de extra aangeboden service wanneer ze er gebruik van maken. Om dit te realiseren, wordt een tijdsfactor berekend. Bij de berekening van de tijdsfactor, wordt in rekening gebracht of het gaat om een smal of breed tijdsvenster. De redenering die gevolgd wordt, is dat klanten met een smal tijdsvenster een grotere kans hebben om wachttijden te veroorzaken. Klanten met een breed tijdsvenster daarentegen hebben een minder grote kans om wachttijden te veroorzaken. Bij de afstand geldt de redenering dat hoe smaller het tijdsvenster hoe groter de kans dat een klant ervoor zorgt dat hij of zij verantwoordelijk is voor de extra afgelegde kilometers. Hoe breder het tijdsvenster, hoe minder groot de kans dat de klant de extra afstand gaat veroorzaken. Deze redenering wordt ondersteund door de analyse van de samengestelde dataset. In tabel 21 worden de gevonden resultaten weergegeven.

**TABEL 21: EXTRA AFSTAND EN WACHTTIJD**

	Smal	Gevarieerd	Breed
Extra afstand (km)	346,88	190,29	21,13
Extra wachttijd (min)	393	301	55

Te bemerken is dat wanneer een klant ervoor kiest om geen tijdsvenster op te leggen, dit ook niet als extra kost moet worden doorgerekend. Deze klant kiest ervoor om de extra service niet te benutten en bijgevolg wordt er geen extra kost toegekend.

Chauffeurs mogen per dag 9 uur rijden, wat betekent dat er een maximaal tijdsvenster opgelegd kan worden van 9 uur. Om dit te realiseren, wordt de volgende methode toegepast:

$$Tijdsfactor = \frac{9 - Tijdsvenster}{9}$$

Zo wordt een bij een tijdsvenster van 1 uur een factor van 0,89 verkregen en een tijdsvenster van 4 uur een factor van 0,56. Iemand met een smaller tijdsvenster zal dus een hogere factor toegekend krijgen. Iemand met een breder tijdsvenster zal een lagere factor toegekend krijgen. Deze factor zal er vervolgens voor zorgen dat er een hogere kost wordt toegekend aan klanten met een smal tijdsvenster. Een klant die een tijdsvenster oplegt van 9 uur krijgt een tijdsfactor van 0,00. Dit omdat

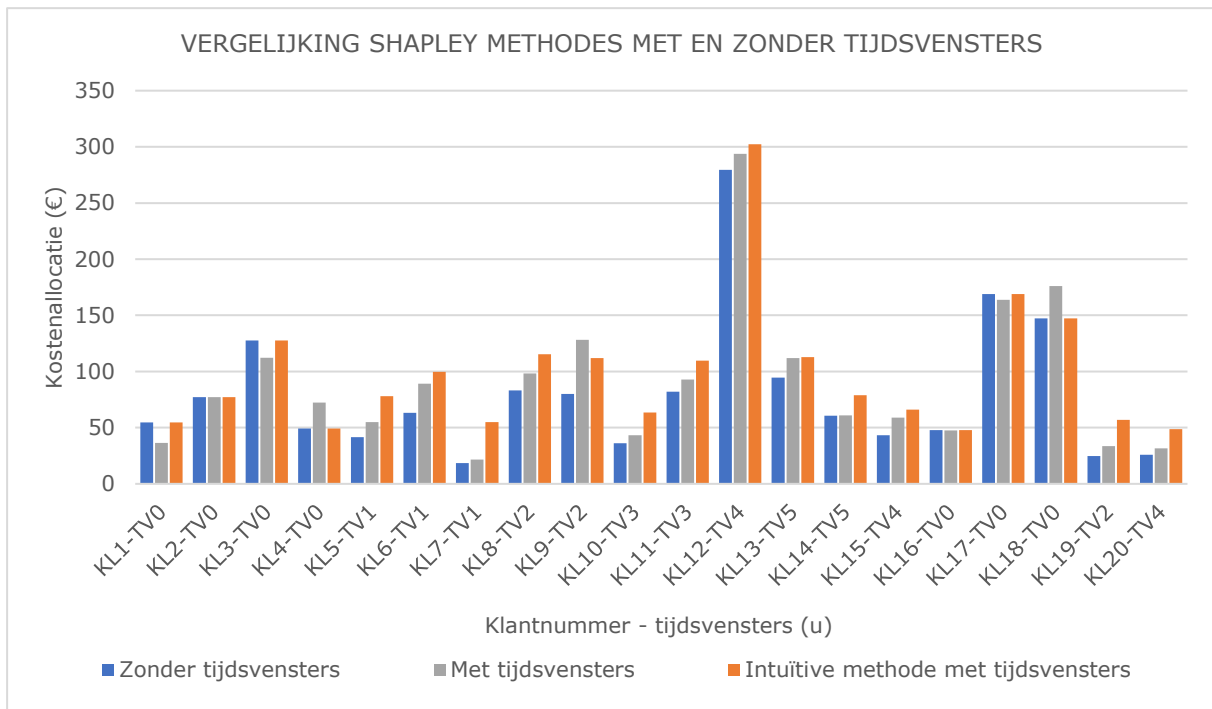
een tijdsvenster van 9 uur inhoudt dat er geen tijdsvenster wordt opgelegd. Ter verduidelijking wordt dit toegepast op het voorbeeld.

**TABEL 22: KOSTENALLOCATIE MET TIJDSVENSTERS**

<b>Naam</b>	<b>Shapley (€)</b>	<b>SA kost (€)</b>	<b>Tijdsvenster (u)</b>	<b>Tijdsfactor</b>	<b>Verdeling (%)</b>	<b>Extra kost (€)</b>	<b>Nieuwe kost (€)</b>
Klant 1	54,77	113,62	9	0,00	0,00	0,00	54,77
Klant 2	77,11	227,12	9	0,00	0,00	0,00	77,11
Klant 3	127,53	205,48	9	0,00	0,00	0,00	127,53
Klant 4	49,28	182,53	9	0,00	0,00	0,00	49,28
Klant 5	41,43	162,83	1	0,89	10,00	36,59	78,02
Klant 6	63,10	143,54	1	0,89	10,00	36,59	99,69
Klant 7	18,44	59,53	1	0,89	10,00	36,59	55,03
Klant 8	83,27	208,62	2	0,78	8,75	32,01	115,28
Klant 9	79,98	177,24	2	0,78	8,75	32,01	111,99
Klant 10	36,17	94,19	3	0,67	7,50	27,44	63,61
Klant 11	82,17	196,31	3	0,67	7,50	27,44	109,61
Klant 12	279,54	386,83	4	0,56	6,25	22,87	302,41
Klant 13	94,44	262,09	5	0,44	5,00	18,29	112,73
Klant 14	60,64	202,36	5	0,44	5,00	18,29	78,93
Klant 15	43,26	119,18	4	0,56	6,25	22,87	66,13
Klant 16	47,75	127,98	9	0,00	0,00	0,00	47,75
Klant 17	169,00	276,30	9	0,00	0,00	0,00	169,00
Klant 18	147,2	225,15	9	0,00	0,00	0,00	147,20
Klant 19	24,86	92,91	2	0,78	8,75	32,01	56,87
Klant 20	25,80	81,86	4	0,56	6,25	22,87	48,67
	1605,74			8,89	100,00	365,87	1971,61

De Shapley methode waarbij geen rekening gehouden wordt met tijdsvensters wordt hier als basis gebruikt. De Shapley waardes worden aangevuld met extra berekeningen om beter om te gaan met tijdsvensters. Alle klanten gaan een tijdsvenster opleggen en de tijdsfactor wordt vervolgens per klant berekend. Deze wordt dan omgezet naar een verdelingspercentage. Om de extra kost te bepalen wordt de totale extra kost (zie stap 1) vermenigvuldigd met het verdelingspercentage. Zo wordt gevonden dat bijvoorbeeld klant 1, 2, 3 en 4 geen extra kost toegewezen krijgen omdat deze klanten geen tijdsvenster opleggen. Klanten 5, 6 en 7 leggen een smal tijdsvenster op van 1 uur en krijgen hiervoor telkens een extra kost toegewezen van € 36,59. In de laatste kolom wordt tot slot de nieuwe kost gevonden. Dit zijn de Shapley waardes waarbij tijdsvensters niet in rekening gebracht zijn, opgeteld met de extra kost. In tabel 22 is eveneens de *stand-alone* (SA) kost opgenomen. Zo kan opgemerkt worden dat de nieuwe kost bij elke klant nog steeds lager is dan de *stand-alone* kost.

Ter verduidelijking wordt de Shapley methode zonder het in rekening brengen van tijdsvensters, de Shapley methode met het in rekening brengen van tijdsvensters en de nieuwe intuïtieve Shapley methode met het in rekening brengen van tijdsvensters geïllustreerd in figuur 22.



Figuur 22: vergelijking Shapley methodes met en zonder tijdsvensters.

Op figuur 22 is te zien dat klanten 1 tot en met 4 en 16 tot en met 18 geen tijdsvenster opleggen. Bij de Shapley met tijdsvensters zullen bij klanten 1, 2, 3, 16 en 17 de kost dalen en bij klanten 4 en 18 de kosten stijgen ten opzichte van de Shapley zonder tijdsvenster. Er wordt dus geen consistentie gevonden in klanten die geen tijdsvenster opleggen. Bij de nieuwe intuïtieve methode wordt wel consistentie gevonden. Wanneer er geen tijdsvenster wordt opgelegd door de klant, blijft immers de kost gelijk aan de oorspronkelijke Shapley zonder tijdsvensters. Bij de overige klanten die wel een tijdsvenster opleggen wordt wel een kosttoename gevonden bij de Shapley met tijdsvenster, maar is deze niet altijd in verhouding. Bijvoorbeeld klant 7 die een smal tijdsvenster oplegt van een 1 uur krijgt slechts een kleinere kost toegewezen ten opzichte van wanneer tijdsvensters niet in rekening worden gebracht. Klanten 5 en 6 die eveneens een tijdsvenster opleggen van 1 uur krijgen meer extra kosten toegewezen. De verhouding lijkt niet correct. Bij de nieuwe Shapley intuïtieve methode met tijdsvenster wordt een betere verhouding gevonden. Zo zullen klanten 5, 6 en 7 allemaal een even grote kost toegewezen krijgen voor het opleggen van een 1 uur tijdsvenster.

Een nadeel aan de nieuwe intuïtieve methode is dat toegekende extra kosten variëren in functie van de opgelegde tijdsvensters door klanten per dataset. Dit is in werkelijkheid niet praktisch toepasbaar. Daarom is het interessant om vaste kosten in rekening te brengen gerelateerd aan het verkozen tijdsvenster. Om deze vaste kosten te bepalen, zijn meerdere simulaties op grotere datasets noodzakelijk. Ter illustratie is er een voorbeeld uitgewerkt in tabel 23 hoe dit zou kunnen worden toegepast. Opnieuw wordt de samengestelde dataset van 1 en 2 gebruikt. Dezelfde tijdsvensters worden gebruikt als in tabel 19. De extra kosten bij het gevarieerd tijdsvenster in tabel 23 komen overeen met de extra kosten gevonden in tabel 22.

**TABEL 23: EXTRA KOST SMAL, GEVARIEERD EN BREED TIJDSVENSTER**

Duur (u)	Smal tijdsvenster (€)	Gevarieerd tijdsvenster (€)	Breed tijdsvenster (€)
1	34,40	36,59	
2	30,10	32,01	
3		27,44	
4		22,87	4,59
5		18,29	3,67
...	...	...	...
9	0,00	0,00	0,00

Voor de gehele dataset worden verschillende situaties gesimuleerd. Een situatie met smalle tijdsvensters, met gevarieerde tijdsvensters en met brede tijdsvensters. Vervolgens worden de extra kosten per tijdsduur langs elkaar gezet. Afhankelijk van de verkregen resultaten kan een extra kost vastgelegd worden door bijvoorbeeld het gemiddelde te nemen. Bij het breed tijdsvenster is opvallend dat de kosten van een tijdsinterval van 4 uur en 5 uur zeer laag zijn. Een mogelijke conclusie dat een bedrijf hieruit kan trekken is om tijdsvensters van meer dan 4 uur niet aan te rekenen aangezien dit voldoende flexibiliteit geeft in de planning. Dit is een keuze die de logistieke dienstverlener zelf moet maken.

Het is voornamelijk dat deze extra kosten op regelmatige tijdstippen gecontroleerd en bijgestuurd worden. De kosten hangen bijvoorbeeld sterk af van brandstofprijzen of het aantal flexibele klanten. Wanneer er allemaal klanten zijn met zeer smalle tijdsvensters, kunnen de totale extra kosten al snel oplopen en hierop moet tijdig worden gereageerd. Om deze fluctuerende parameters die de kosten bepalen niet uit het oog te verliezen na verloop van tijd, moet er dus regelmatig gecontroleerd en bijgestuurd worden. In de praktijk worden daarom post factum analyses uitgevoerd. Op deze manier worden de werkelijke versus initiële inschattingen vergeleken om dan de prijzen aan te passen indien nodig. Zo wordt ervaring opgedaan dat zal leiden tot een betere kostenallocatiemethode.

Wanneer klanten tijdsvensters opstellen, gebeurt dit onafhankelijk van elkaar. Onderzoek van Eren Akyol & De Koster (2018) toont aan dat samenwerking tussen klanten kan helpen om tijdsvensters beter op elkaar af te stemmen. Hierbij zal de tevredenheid van klanten groter of gelijk zijn aan de huidige tevredenheid (wanneer de tijdsvensters niet op elkaar zijn afgestemd). Dit omdat er een betere planning kan worden opgesteld waarbij meerdere klanten worden gecombineerd en er zo minder tijdsvensters worden gemist. Bovendien zal dit dan ook leiden tot lagere kosten voor de klanten. Dit onderzoek toont in de context van deze masterproef het belang aan dat logistieke dienstverleners er baat bij hebben om de tijdsvensters van verschillende klanten zo goed mogelijk op elkaar af te stemmen. In gesprek gaan met de klant wanneer er een tijdsvenster niet goed in de planning past, vormt dus een meerwaarde (Eren Akyol & De Koster, 2018).

## 4.6 Kostenallocatiemethodes met volumes

Niet alleen tijdsvensters kunnen een invloed hebben op de gevolgde route en vervolgens op de kostenallocatie, ook volumes hebben een invloed. In de volgende sectie worden volumes toegevoegd aan de rittenplanning en nadien de kosten gealloceerd aan de klanten. Er wordt nagegaan hoe klanten die een specifiek volume gaan innemen van de vracht, op een zo eerlijk mogelijke manier kosten worden aangerekend.

Eerst wordt nagegaan welk effect volumes hebben op de rittenplanning. Daarna wordt onderzocht hoe bestaande kostenallocatiemethodes reeds omgaan met getransporteerde volumes. Er wordt bestudeerd of er rekening wordt gehouden met volumes in kostenallocatiemethodes en hoe. Tot slot wordt een nieuwe intuïtieve methode uitgewerkt die tracht kostenallocatiemethodes aan te passen om beter om te gaan met volumes.

### 4.6.1 Rittenplanning

Net zoals bij het integreren van tijdsvensters, is het integreren van volumes een aspect dat de gevolgde route kan beïnvloeden. Zo is het mogelijk dat er meerdere ritten gevormd worden omdat de maximale beladingsgraad per vracht overschreden wordt en bijgevolg de ritsamenstelling kan veranderen. Door volumes zullen er in vergelijking met tijdsvensters geen wachttijden ontstaan.

### 4.6.2 Bestaande kostenallocatiemethodes

Wanneer eenmaal een efficiënte rittenplanning wordt gevonden, is het voornaam om de kosten eerlijk toe te wijzen. Wanneer er 2 klanten zijn met een gelijke afstand tot aan het depot en er is een klant die 60 % van de vracht inneemt, dan moet die klant altijd meer kosten toegewezen krijgen dan de andere klant die slechts 20 % van de vracht inneemt. Anders zou de kostentoewijzing als oneerlijk worden ervaren. In deze sectie wordt bestudeerd hoe bestaande kostenallocatiemethodes omgaan met volumes.

Er wordt gestart met de proportionele toewijzing. In de literatuurstudie werd al kort de proportionele toewijzing op basis van het volume aangekaart. In de berekening wordt een bepaald volumepercentage, ook wel aandeel  $\alpha_j$  genoemd, berekend. Dit wordt dan weergegeven als het volume per klant gedeeld door de som van alle volumes van alle klanten samen (Vos & Raa, 2018):

$$\alpha_j = \frac{V(j)}{\sum_{i \in N} V(i)}$$

Vervolgens wordt de gealloceerde kost per klant berekend door het volumepercentage (het aandeel  $\alpha_j$ ) te vermenigvuldigen met de totale kosten voor alle klanten samen ( $C(N)$ ) (Guajardo & Rönnqvist, 2016):

$$x_j = \alpha_j * C(N) \quad \forall j \in N$$

De eenvoudige interpretatie, berekening en implementatie worden als voordeel beschouwd van deze methode (Verdonck et al., 2016). Ook heeft de proportionele toewijzing als nadeel dat er geen

garantie is op een eerlijke verdeling en stabiliteit. Zo is het mogelijk dat een logistieke dienstverlener een rittenplanning opstelt waarin de gezamenlijke, gealloceerde kost hoger is dan de *stand-alone* kost (Vos & Raa, 2018).

Ter illustratie wordt een voorbeeld uitgewerkt in tabel 24. De volumepercentages zijn willekeurig gekozen. De data is afkomstig uit dataset 1 rit 1. De totale kost C(N) bedraagt hier € 325,86.

**TABEL 24: PROPORTIONELE TOEWIJZING O.B.V. VOLUME**

<b>Naam</b>	<b>Volume (%)</b>	<b>Proportionele toewijzing o.b.v. volume (€)</b>
Klant 5	10	32,59
Klant 4	10	32,59
Klant 8	20	65,17
Klant 6	30	97,76
Klant 3	30	97,76

Naast de proportionele methode op basis van volume zijn er nog tal van andere kostenallocatiemethodes die eerder aan bod kwamen. Uit deze methodes wordt gekozen om de Shapley methode verder te onderzoeken om zo na te gaan of de Shapley rekening houdt met volumes bij de kostenallocatie. Zoals besproken in voorgaande sectie is volume een aspect dat de gevolgde route kan beïnvloeden. Doordat de ritsamenstelling verandert ten gevolge van het toepassen van volumes, is het niet mogelijk om het effect van volumes op de kostentoe wijzing te onderzoeken op ritniveau. Daarom wordt gekeken naar het effect van volumes op de gehele dataset. De samengestelde dataset van 1 en 2 wordt gebruikt om opnieuw een grotere dataset te verkrijgen met meer klanten. In bijlage D wordt deze dataset teruggevonden.

Bij het berekenen van de kosten van alle mogelijke subcoalities wordt abstractie gemaakt van het feit dat de optimale volgorde in een rit en de ritsamenstelling kan veranderen ten gevolge van het integreren van volumes. De kosten berekenen voor alle subcoalities zou te complex zijn. Wanneer er naar een optimale subcoalitie wordt gezocht, zal immers de ritvolgorde veranderen door zowel volumes als afstand, maar er kunnen ook andere ritten gevormd worden.

De Shapley waarde wordt berekend in een situatie zonder het in rekening brengen van volumes en in een situatie met het in rekening brengen van volumes. In de situatie zonder volumes wordt in tabel 25 de rit waartoe de klant behoort en de Shapley waarde per klant weergegeven. In tabel 26, de situatie met volumes, worden de volumes nog extra weergegeven.

**TABEL 25: ZONDER VOLUME**

<b>Naam</b>	<b>Rit</b>	<b>Shapley (€)</b>
Klant 12	1	279,54
Klant 17	1	169,00
Klant 3	2	127,53
Klant 18	2	147,20
Klant 14	3	60,64

**TABEL 26: MET VOLUME**

<b>Naam</b>	<b>Rit</b>	<b>Volume (%)</b>	<b>Shapley (€)</b>
Klant 12	1	30	279,54
Klant 17	1	25	169,00
Klant 19	2	5	28,56
Klant 16	2	10	41,59
Klant 4	2	15	70,01



Klant 2	3	77,11	Klant 11	2	70	94,18
Klant 13	3	94,44	Klant 15	3	40	56,96
Klant 9	3	79,98	Klant 2	3	10	78,72
Klant 8	4	83,27	Klant 13	3	15	113,66
Klant 4	4	49,28	Klant 14	3	30	62,61
Klant 5	4	41,43	Klant 10	4	80	94,19
Klant 11	4	82,17	Klant 5	5	40	60,48
Klant 10	5	36,17	Klant 8	5	50	96,24
Klant 15	5	43,26	Klant 6	5	10	42,61
Klant 1	5	54,77	Klant 20	6	30	43,44
Klant 7	5	18,44	Klant 3	6	20	104,54
Klant 20	6	25,80	Klant 18	6	15	142,06
Klant 19	6	24,86	Klant 9	7	60	140,96
Klant 6	6	63,10	Klant 1	7	5	59,48
Klant 16	6	47,76	Klant 7	7	30	29,82
		1605,75				1808,65

In tabel 26 is te zien dat de extra gereden kilometers in rekening worden gebracht door de Shapley methode. In tabel 25 bedraagt de totale afstand (en eveneens kost) 1605,75 km en in tabel 26, wanneer er rekening wordt gehouden met volumes, 1808,65 km. De kosten worden immers opnieuw berekend en er vindt een nieuwe verdeling van de totale kost over de klanten plaats wanneer een nieuwe ritsamenstelling wordt verkregen. De extra afstand wordt dus wel in rekening gebracht, maar opnieuw lijkt er oneerlijke verdeling plaats te vinden van de kosten.

Bijvoorbeeld klant 12 neemt een volume in van 30 % en klant 17 van 25 %. Klant 12 en 17 blijven in dezelfde ritsamenstelling. De afstanden blijven dus gelijk. Enkel de volumevoorwaarden worden toegevoegd. Als de Shapley methode rekening zou houden met het volume, zou verwacht worden dat klant 12 een hogere kost toegewezen zou krijgen. Dit is hier niet het geval. Dit wordt nog duidelijker wanneer er een simulatie wordt gedaan wanneer het volume van klant 12 zou toenemen naar 70 % en die van klant 17 naar 30 %. De kostenverdeling blijft dan voor klant 12 en 17 respectievelijk € 279,54 en € 169,00. De kostenallocatie past zich dus niet aan naargelang het volume.

Wanneer de ritsamenstelling verandert zoals in rit 2 van tabel 26 lijkt eveneens een oneerlijke verdeling gevonden te worden. Klant 11 neemt een volume in van 70 %. De kosten stijgen met slechts € 12,01. Klant 4 daarentegen neemt een volume in van 15 %. De kosten stijgen met € 20,73. Daarnaast wordt gevonden dat een klant in een rit die het laagste volume inneemt nog steeds een kostentoe name realiseert. Zo bijvoorbeeld bij klant 19 op rit 2. Deze klant neemt 5 % van het volume in en zal een kostentoe name realiseren van € 3,70 ten opzichte van de originele Shapley waardes. Dit doet vermoeden dat de Shapley methode de kosten niet eerlijk allocceert in functie van de volumes.

Het is noodzakelijk dat volumes bij kostenallocatie in rekening worden gebracht. Bestaande kostenallocatiemethodes moeten daarvoor aangepast worden. Er wordt bij de Shapley methode

rekening gehouden met de extra afgelegde kilometers die het integreren van volumes veroorzaken, maar deze lijken op een oneerlijke manier verdeeld te worden. De extra kost van klanten die een groot volume innemen lijkt niet altijd in verhouding met de extra kost van klanten die een klein volume innemen. Het is dus noodzakelijk dat kostenallocatiemethodes worden aangepast wanneer volumes worden geïntegreerd zodanig dat er een eerlijke kostenverdeling over de verschillende klanten wordt gerealiseerd.

### 4.6.3 Nieuwe intuïtieve kostenallocatiemethode

In voorgaande sectie werd geconcludeerd dat het lijkt dat de Shapley methode volumes op een oneerlijke manier in rekening brengt. Daarom wordt in deze sectie onderzocht hoe de kostenallocatiemethodes aangepast kunnen worden zodat er beter omgegaan wordt met volumes. Omdat de literatuur hierover zeer beperkt is, is er nieuwe intuïtieve methode ontwikkeld die gebruik maakt van realistische gegevens. Deze methode bestaat uit verschillende stappen. Per stap wordt een voorbeeld uitgewerkt waarbij de samengestelde dataset van 1 en 2 wordt gebruikt met integratie van volumes.

#### **STAP 1: Beladingsgraad**

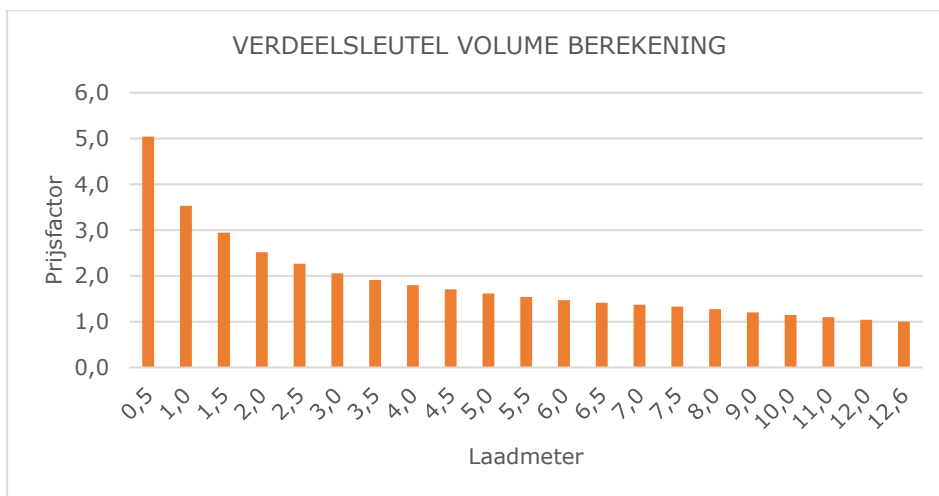
In de eerste stap wordt de beladingsgraad bepaald. Dit is de hoeveelheid die een klant van de vracht inneemt. Een lading kan uitgedrukt worden in gewicht of volume. Voor het volume wordt gebruik gemaakt van  $m^3$  voor stapelbare goederen en van laadmeter of  $m^2$  vloeroppervlak voor niet stapelbare goederen. Bepaalde goederen, zoals donsdekens, nemen een groot volume in en wegen in verhouding weinig. Andere goederen, zoals metalen coils, nemen weinig volume in, maar wegen in verhouding veel. Om het volume per vracht te bepalen wordt steeds rekening gehouden met de beperkende factor. In het geval van de donsdekens zijn dit de beschikbare  $m^3$ . In geval van de coils is dit het maximale toelaatbare gewicht per vracht. Het gewicht en het volume dat een vervoerder in één vracht mee kan nemen ligt vast. Het volume bepaalt of er voldoende plaats op een vracht beschikbaar is. Zolang het maximale gewicht niet overschreden wordt en er is nog plaats beschikbaar, wordt het beschikbare volume opgevuld.

In de proportionele toewijzing op basis van het volume wordt gesteld dat wanneer er een bepaald percentage volume in beslag wordt genomen, er procentueel een evenredige kost wordt toegekend aan de klant. De realiteit leert dat dit vaak anders verloopt. Kleine volumes maken het proces immers complexer. Het laden en lossen duurt in verhouding met grote volumes langer, het maakt het opstellen van een planning arbeidsintensiever, enz. Grote volumes daarentegen zijn minder complex. Om dit in rekening te brengen wordt in de praktijk gebruik gemaakt van een verdeelsleutel. In tabel 27 wordt de verdeelsleutel weergegeven. De tabel werd verkregen tijdens een gesprek met één van de ondervraagde transporteurs (zie hoofdstuk 5). Er wordt uitgegaan van een vrachtwagen die een maximaal laadvermogen heeft van 12,6 laadmeter, een gewicht van 20 ton en een volume van 80  $m^3$  of 30  $m^2$  vloeroppervlak.

**TABEL 27: VERDEELSLEUTEL VOLUME BEREKENING**

Laadmeter	Gewicht (kg)	m <sup>3</sup>	Kost-percentage (%)
< 0,5	< 1250	< 2,5	15
0,5	1250	5,0	20
1,0	2000	7,5	28
1,5	2500	10,0	35
2,0	3300	13,0	40
2,5	4200	17,0	45
3,0	5000	20,0	49
3,5	5800	22,0	53
4,0	6600	25,0	57
4,5	7500	30,0	61
5,0	8300	32,0	64
5,5	9200	35,0	67
6,0	10 000	40,0	70
6,5	11 250	45,0	73
7,0	12 500	50,0	76
7,5	13 750	55,0	79
8,0	15 000	60,0	81
9,0	16 500	65,0	86
10,0	18 000	70,0	91
11,0	19 000	75,0	96
12,0	20 000	80,0	100
>12	> 20 000	> 80	100

Een halve laadmeter komt overeen met een volume inname van 3,97 % (0,5 lm/12,6 lm). Er wordt in tabel 27 een kostpercentage toegekend van 20 %. De kost voor de klant bedraagt hierdoor 5,04 keer meer (20 %/3,97 %). Deze gegevens worden in figuur 23 grafisch weergegeven:



Figuur 23: Verdeelsleutel volume berekening.

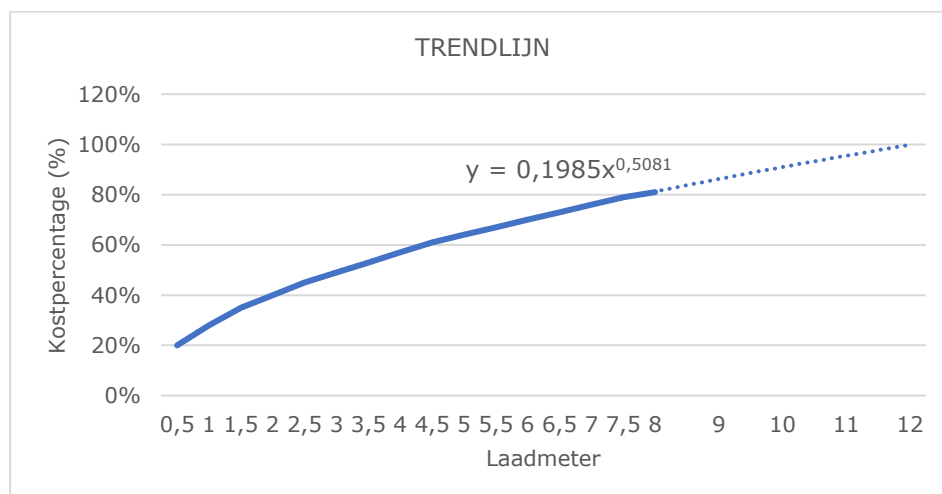
Op deze figuur is te zien dat door rekening te houden met de nieuwe verdeelsleutel een klant die een halve laadmeter in beslag neemt, 5,04 keer meer kosten toegewezen moet krijgen dan wanneer er geen rekening wordt gehouden met de verdeelsleutel. Bij 1 laadmeter zal de klant 3,53 keer meer kosten toegewezen krijgen. Bij 12 laadmeter zal de klant slechts 1,05 keer meer kosten toegewezen krijgen. Door dit toe te passen wordt er rekening gehouden met de complexiteit die met kleinere volumes gepaard gaat. Ter verduidelijking wordt een voorbeeld uitgewerkt. Dit wordt uitgewerkt voor 5 klanten uit dataset 1 rit 1. De volumes worden willekeurig bepaald.

**TABEL 28: VOLUME BEREKENING**

Naam	Lm	Lm afgerond	Volume (%)	Kost-percentage (%)	Nieuw volume (%)
Klant 5	1,20	1,50	10	35	15,28
Klant 4	1,20	1,50	10	35	15,28
Klant 8	2,40	2,50	20	45	19,65
Klant 6	3,60	4,00	30	57	24,89
Klant 3	3,60	4,00	30	57	24,89
	12,60		100		100,00

Er wordt verondersteld dat laadmeter de beperkende factor is. Klant 1 neemt bijvoorbeeld 1,20 laadmeter in beslag wat betekent dat klant 1 10 % van de beschikbare 12 laadmeter inneemt. Daarna wordt in tabel 27 het bijhorende kostpercentage opgezocht per klant aan de hand van de naar boven afgeronde laadmeters. Tot slot wordt dit percentage omgezet naar een nieuw volume percentage zodat het te sommeren getal 100 % bedraagt. Dit dient als basis voor de verdere kostberekening.

Om dit praktisch te houden en te kunnen berekenen in Access wordt er gezocht naar de trendlijn die gevonden wordt van de kostpercentages weergegeven in de laatste kolom van tabel 27. Hiervoor wordt een grafiek gemaakt waar laadmeter wordt uitgezet ten opzichte van het kostpercentage. De trendlijn die het best aansluit is een machtsverhouding en wordt weergegeven door:  $y = 0,1985x^{0,5081}$ . Deze trendlijn wordt weergegeven in figuur 24.



*Figuur 24: Trendlijn.*

Om aan te tonen dat deze trendlijn de juiste waardes geeft, wordt hetzelfde voorbeeld als in tabel 28 opgelost. De resultaten in tabel 29 zijn afgerond. Voor de berekeningen zijn geen afrondingen gebruikt.

**TABEL 29: VOLUME BEREKENING**

Naam	Volume (%)	$Y = 0,1985x^{0,5081}$	Nieuw volume (%)
Klant 5	10	0,06	14,46
Klant 4	10	0,06	14,46
Klant 8	20	0,09	20,56
Klant 6	30	0,11	25,26
Klant 3	30	0,11	25,26
	100	0,43	100,00

Zo wordt gevonden in tabel 29 dat klant 5, die een volume van 10 % inneemt, een Y bekommt van 0,06. De verhouding van Y van klant 5 (0,06) ten opzichte van de totale som van alle Y's (0,43) bedraagt 14,46 %. Dit werd eveneens gevonden in de laatste kolom van tabel 28. Omdat de trendlijn een schatting is, zorgt dit voor een minimaal verschil tussen de 2 nieuwe volumes.

#### **STAP 2: Kosten herverdelen aan de hand van volumes**

Het in rekening brengen van volumes wordt niet gezien als een extra service die wordt aangeboden door de logistieke dienstverlener. Daarom wordt geen extra kost toegewezen aan de klant, maar vindt er een herverdeling van de kosten plaats in functie van de te transporteren volumes. De nieuwe intuïtieve methode gaat niet de kostenallocatiemethodes aanpassen, maar de input waarmee de berekeningen van de allocatiemethodes gebeuren. Voorgaande methodes gingen bij elke ritsamenstelling de optimale kost voor elke rit berekenen. Dit zowel voor de rit van een enkele klant, de rit van elke mogelijke subcoalitie en de rit van alle klanten samen. Om volumes in rekening te brengen, worden de optimale kosten voor elke rit aangepast. De methode die hiervoor wordt toegepast wordt weergegeven in tabel 30. Dit wordt opnieuw toegepast op dataset 1 rit 1. De resultaten in tabel 30 zijn afgerond. Voor de berekeningen zijn geen afrondingen gebruikt.

**TABEL 30: KOSTEN AANPASSEN AAN VOLUMES**

Naam	Stand-alone kost (€)	Aandeel (%)	$Y = 0,1985x^{0,5081}$	Aandeel * Y	Verdeling (%)	Nieuw optimale kost (€)
Klant 5	162,83	18,05	0,06	0,01	13,02	21,19
Klant 4	181,71	20,14	0,06	0,01	14,52	26,39
Klant 8	208,62	23,12	0,09	0,02	23,71	49,47
Klant 6	143,54	15,91	0,11	0,02	20,05	28,78
Klant 3	205,47	22,78	0,11	0,03	28,70	58,97
	902,17	100,00	0,43	0,09	100,00	

Voor klant 5 bedraagt de *stand-alone* kost € 162,83. Dit wordt omgezet in een percentage aandeel. De verhouding van de *stand-alone* kost van klant 5 (€ 162,83) op de totale *stand-alone* kosten (€

902,17) bedraagt 18,05 %. Vervolgens wordt het percentage aandeel vermenigvuldigd met de factor Y, die reeds in tabel 29 werd berekend. Dit geeft voor klant 5 0,01. Deze wordt omgerekend opdat 100 % verkregen wordt. Dit geeft een verdelingspercentage, die voor klant 5 13,02 % bedraagt. Dit verdelingspercentage wordt tot slot vermenigvuldigd met de *stand-alone* kost. Voor klant 5 geeft dit:

$$162,83 * 13,02 \%$$

In de bestaande kostenallocatiemethodes wordt rekening gehouden met de afstandsfactor in de kosten (*stand-alone* kost, de kost van subcoalities en de kost van alle klanten samen). Met volumes wordt echter geen rekening gehouden. Bij bestaande kostenallocatiemethodes wordt ervan uitgegaan dat elke klant een gelijk volume inneemt. In het voorbeeld van tabel 30 betekent dit dat elke klant 1/5 van het totale volume zou innemen. Dit komt niet overeen met de realiteit. Vandaar wordt gekozen om de kosten waarmee de kostenallocatiemethodes worden berekend aan te passen naargelang het volume dat wordt ingenomen.

Deze berekening wordt niet enkel toegepast op de *stand-alone* kost, maar ook op alle kosten van mogelijke subcoalities. Wanneer de kost van een subcoalitie bepaald moet worden, wordt de optimale kost van die subcoalitie vermenigvuldigd met de som van de verdelingspercentages. De verdelingspercentages worden opgeteld omdat de subcoalitie van bijvoorbeeld klant 4 en 5 het opgetelde volume vervoeren. De optimale kost van subcoalitie 4 en 5 bedraagt € 180,16. Deze kost wordt gevonden in bijlage E. Dan wordt de nieuwe kost als volgt berekend:

$$180,16 * (13,02 \% + 14,52 \%)$$

Tot slot moet ook de kost berekend worden van de rit met alle klanten samen. Hiervoor wordt opnieuw de optimale kost van de rit van alle klanten samen vermenigvuldigd met de som van alle verdelingspercentages. Deze som bedraagt altijd 100 % waardoor de kost van de rit met alle klanten samen altijd gelijk is aan de oorspronkelijke optimale kost, die in dit geval € 325,86 bedraagt.

$$325,86 * (13,02 \% + 14,52 \% + 23,71 \% + 20,05 \% + 28,70 \%) = 325,86$$

Voor elke afzonderlijke rit, voor alle ritten van mogelijk subcoalities en voor de rit van alle klanten samen wordt een nieuwe optimale kost verkregen die rekening houdt met het volume. In bijlage E wordt de ritsamenstelling van dataset 1 rit 1 gegeven waarbij de originele optimale kosten terug te vinden zijn en de nieuwe optimale kosten die volume in rekening brengen. Deze nieuwe optimale kosten kunnen worden gebruikt voor alle kostenallocatiemethodes die besproken zijn in de literatuurstudie. Er wordt gekozen om deze nieuwe kosten te gebruiken met de Shapley methode. Wanneer dit wordt toegepast op de samengestelde dataset, wordt tabel 31 verkregen.

**TABEL 25: ZONDER VOLUME**

Naam	Rit	Shapley (€)
Klant 12	1	279,54
Klant 17	1	169,00
Klant 3	2	127,53
Klant 18	2	147,20
Klant 14	3	60,64

**TABEL 31: INTUÏTIEVE METHODE MET VOLUME**

Naam	Rit	Volume (%)	Shapley (€)
Klant 12	1	30	286,94
Klant 17	1	25	161,60
Klant 19	2	5	15,76
Klant 16	2	10	29,80
Klant 4	2	15	55,99

Klant 2	3	77,11	Klant 11	2	70	132,80
Klant 13	3	94,44	Klant 15	3	40	66,45
Klant 9	3	79,98	Klant 2	3	10	61,29
Klant 8	4	83,27	Klant 13	3	15	100,69
Klant 4	4	49,28	Klant 14	3	30	83,51
Klant 5	4	41,43	Klant 10	4	80	94,19
Klant 11	4	82,17	Klant 5	5	40	65,99
Klant 10	5	36,17	Klant 8	5	50	111,03
Klant 15	5	43,26	Klant 6	5	10	22,31
Klant 1	5	54,77	Klant 20	6	30	49,97
Klant 7	5	18,44	Klant 3	6	20	112,29
Klant 20	6	25,80	Klant 18	6	15	127,77
Klant 19	6	24,86	Klant 9	7	60	165,47
Klant 6	6	63,10	Klant 1	7	5	32,52
Klant 16	6	47,76	Klant 7	7	30	32,26
		1605,75				1808,63

Aan de hand van de nieuwe intuïtieve methode wordt gevonden dat klant 12 en 17 nu respectievelijk € 286,94 en € 161,60 kosten toegewezen krijgen. Dit lijkt een eerlijkere verdeling aangezien klant 12 een groter volume inneemt in vergelijking met klant 17. Wanneer het volume in rit 1 aangepast zou worden naar 70 % en 30 %, worden de volgende kosten gevonden:

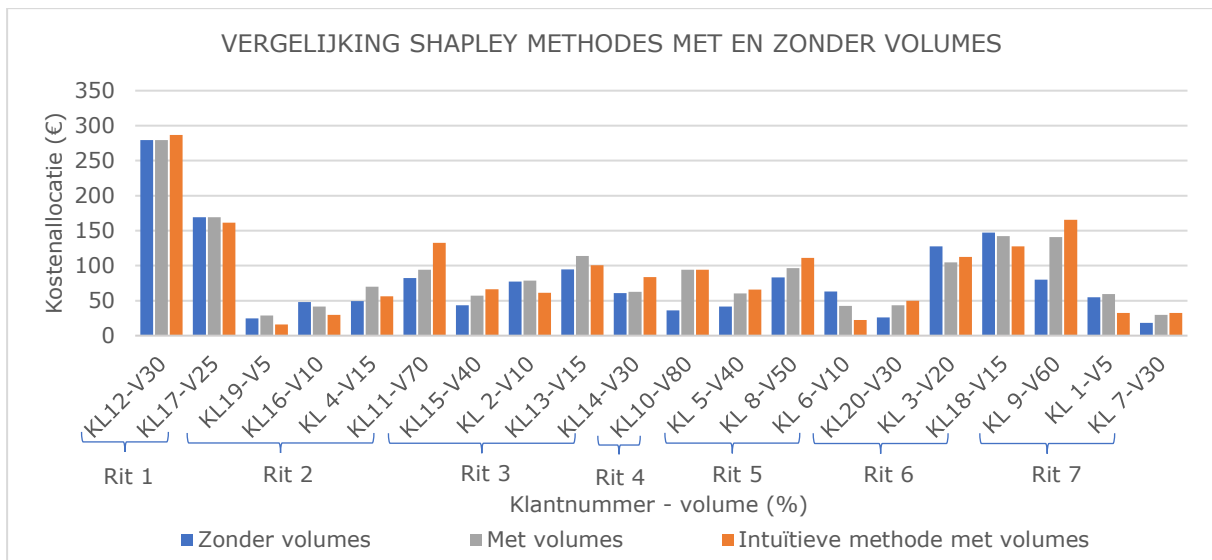
**TABEL 32: INTUÏTIEVE METHODE MET VOLUME**

Naam	Rit	SA (€)	Volume (%)	Shapley (€)
Klant 12	1	386,83	70	312,54
Klant 17	1	276,30	30	136,00

De kosten worden op zulke manier verdeeld dat de klant die het grootste volume inneemt, een grotere kost toegewezen krijgt.

Bij de tweede ritsamenstelling wordt gevonden dat klant 11, die 70 % van het volume inneemt, een kostentoeename kent van € 50,63. Klant 4 die 15 % inneemt, kent een kostentoeename van € 6,71. Deze verhouding lijkt correcter te zijn. In elke rit zullen klanten die het laagste volume innemen, een kostendaling kennen ten opzichte van de originele Shapley waardes. In elke rit zullen klanten die het hoogste volume innemen, een kostentoeename kennen ten opzichte van de originele Shapley waardes. Op basis van deze bevindingen kan voorzichtig geconcludeerd worden dat met de nieuwe intuïtieve methode op een eerlijkere manier de kosten worden gealloceerd over de verschillende klanten.

Ter verduidelijking wordt de Shapley methode zonder het in rekening brengen van volumes, de Shapley methode met het in rekening brengen van volumes en de nieuwe intuïtieve Shapley methode met het in rekening brengen van volumes geïllustreerd in figuur 25.



Figuur 25: Vergelijking Shapley methodes met en zonder volumes.

In figuur 25 worden de verschillende methodes grafisch vergeleken met elkaar. Zo is te zien dat klant 12 en 17 die respectievelijk een volume innemen van 30 % en 25 % geen verandering kennen in kostentoewijzing bij de Shapley met volumes ten opzichte van de Shapley zonder volumes. Nochtans wijzigt voor deze rit de ritsamenstelling niet en blijft de afstand dus gelijk. Bij de nieuwe intuïtieve methode wordt wel een lichte kostenstijging gevonden bij klant 12 die een groter volume inneemt en een lichte kostendaling bij klant 17 die een kleiner volume inneemt. Bij de tweede rit wordt gevonden bij de Shapley met volumes dat klant 4, die een volume inneemt van 15 %, in verhouding meer kosten toegewezen krijgt dan klant 11, die een volume inneemt van 70 %. Bij de nieuwe intuïtieve methode geldt dat klant 11 een veel grotere kost toegewezen krijgt. Er lijkt een eerlijke kostenallocatie gevonden te worden bij de nieuwe intuïtieve methode.

In deze sectie werd nagegaan hoe bestaande kostenallocatiemethodes aangepast kunnen worden om beter om te gaan met volumes. De ontwikkelde intuïtieve methode gaat de kostenallocatiemethodes niet aanpassen, maar de input waarmee de berekeningen zullen gebeuren van de methodes. Op deze manier lijkt een eerlijkere manier gevonden te worden om met volumes om te gaan. Echter is dit een nieuwe methode die nog verder onderzoek vereist om na te gaan in hoeverre deze methode bruikbaar is. Een toetsing aan de praktijk is sterk aangeraden.





## 5 Toetsing aan de realiteit

Na de theoretische studie van de verschillende kostenallocatiemethodes door middel van literatuuronderzoek en empirisch onderzoek, wordt nu onderzocht hoe logistieke dienstverleners de kosten op een zo eerlijk mogelijke manier in de realiteit gaan alloceren wanneer er rekening wordt gehouden met tijdsvensters en volumes. Er is een gebrek aan literatuur over het integreren van tijdsvensters en volumes in kostenallocatiemethodes. Om deze sectie in de empirische studie zo realistisch mogelijk te benaderen, is er beroep gedaan op hoe bedrijven hier in de realiteit mee omgaan. Er hebben 2 bedrijven hun inzichten gedeeld aan de hand van een interview. Een aantal van deze inzichten zijn verwerkt in het tweede deel van de empirische studie bij het in rekening brengen van tijdsvensters en volumes.

Bedrijven wensen inzichten te verwerven in kosten die klanten/orders met zich meebrengen zodat goede prijsonderhandelingen gevoerd kunnen worden. In realiteit is het bepalen van een goede kost van veel parameters afhankelijk. Een eerste belangrijke parameter is de afstand omdat deze bepalend is voor de te rijden kilometers en de tijd die ervoor nodig is. Daarnaast speelt het type leverlocatie een rol. Een bedrijf dat 7 op 7 open is of een bedrijf met beperkte openingstijden geven al een groot verschil met betrekking tot de mogelijke levermomenten. Een volgende parameter is het opnemen van het type tijdsvenster dat aangeeft hoe flexibel een klant is. De regel die algemeen gehanteerd wordt is dat hoe smaller het tijdsvenster is (dus hoe minder flexibel de klant is), hoe hoger de kost voor de klant. De rit kan ten gevolge van een opgelegd tijdsvenster niet meer optimaal uitgevoerd worden waardoor zowel afstand als tijd kunnen toenemen. Als voorlaatste parameter worden getransporteerde volumes in acht genomen en tot slot wordt de gemiddelde duurtijd van het laden en lossen in rekening gebracht. In realiteit treden er vaak inefficiënties op die moeilijk op voorhand kunnen worden ingecalculeerd. Het opleggen van tijdssloten zorgt voor de logistieke dienstverlener dat er risico's ontstaan. Zo kan er soms iets mislopen in de planning waardoor een tijdslot niet wordt gehaald en er pas de mogelijkheid is om de volgende dag te leveren. Ook kan het gebeuren dat de wachttijd veel langer is dan voorspeld. Deze risico's worden op voorhand ingeschat door de logistieke dienstverlener. Er wordt dan gewerkt met een onzekerheidsfactor, of ook wel buffer genoemd, bij het inschatten van de kosten.

Om als bedrijf informatie te verkrijgen over deze parameters, wordt een gesprek georganiseerd met de potentiële klant. Aan de hand van deze parameters worden de kosten ingeschat en een prijs bepaald. Er wordt dan een tariefsysteem per klant opgesteld. Hoe meer informatie de logistieke dienstverlener van de klant krijgt, hoe beter de kost kan worden ingeschat. Hoe minder informatie ze ontvangen, hoe meer dit leidt tot onzekerheid en dit zal door middel van een hogere onzekerheidsfactor gereflecteerd worden in de prijzen. Wanneer er op voorhand geweten is dat bijvoorbeeld het laden en lossen minder lang duurt dan een vooropgestelde tijd, kan er een lagere kost worden toegekend.

Beide bedrijven geven aan dat het inzicht verkrijgen in de kosten geen gemakkelijke taak is. De inschattingen die plaatsvinden van de verschillende parameters gaan vaak gepaard met veel ervaring. In de praktijk loopt dit dan ook vaak mis. De ene keer wordt de kost goed ingeschat, de

andere keer niet en wordt de kost te hoog of te laag ingeschat. Ervaring wordt verkregen door post factum analyses uit te voeren waarbij de werkelijke kosten vergeleken worden met de geschatte kosten. Rapporten worden bestudeerd en bestaande kostenallocatiemethodes worden aangepast.

Daarnaast moet opgemerkt worden dat een prijs zeer vaak markt gedreven is. Voor grotere opdrachten vindt er een tender plaats. Hier gaan bedrijven hun logistieke vraag uitbesteden en logistieke dienstverleners kunnen hierop bieden. Wanneer een logistieke dienstverlener een prijs aanbiedt dan kan het bedrijf in kwestie hierop reageren door aan te geven dat de prijs te hoog is. Vervolgens wordt een nieuwe prijs voorgesteld bij een nieuwe tariefronde totdat een akkoord wordt bereikt. Een akkoord kan inhouden dat de prijs verlaagd wordt en dus aangepast wordt aan de markt en zo een marktprijs wordt ingesteld, maar de logistieke dienstverlener zou ook kunnen weigeren om de prijs te laten dalen.

Om als bedrijf een goed zicht te bewaren over de kosten, is het interessant om sensitiviteitsanalyses uit te voeren. Zo kan nagegaan worden welke en in welke mate parameters een invloed hebben op de kost. Er kan bijvoorbeeld geanalyseerd worden wat de invloed is op de kost als de wachttijd bij de klant verminderd wordt. Er wordt dan gekeken hoe de kost eventueel aangepast dient te worden.

De aanrekening van getransporteerde volumes wordt via verschillende afrekeningsmodellen gedaan. Wanneer er éénzelfde klant is, zijn er vaak 2 toegepaste methodes. Zo is er een methode die een extra prijs per stop op de route zal aanrekenen en eventueel een extra toeslag voor additionele kilometers indien er extra moet worden omgereden. Bij de andere methode gaat er een minimumprijs worden vastgesteld (ter waarde van de vaste kosten) en hier wordt een kilometerprijs bij opgeteld ter dekking van de variabele kosten. Wanneer er meerdere klanten in éénzelfde rit worden beleverd, wordt gekeken naar tarieven per m<sup>2</sup> vloeroppervlak, laadmeter of tonnage. Er wordt eveneens gekeken of de goederen stapelbaar zijn.

Wanneer volumes worden gesorteerd van klein naar groot, is er geen lineaire kostenlijn te vinden. Er is namelijk een afnemende incrementele kost. Indien 13 laadmeter vervoerd wordt of 13 keer 1 laadmeter, zal er voor de 13 keer 1 laadmeter een hogere vaste kost aan verbonden zijn. Zoals de kost van het laden en lossen en de kost voor het plannen. Eveneens zijn er tal van inefficiënties die kunnen optreden zoals het missen van een tijdslot of een lading die geweigerd wordt. Dit wordt ingecalculeerd in de toegewezen kost door middel van de onzekerheidsfactor.

Als logistieke dienstverlener is het voornamelijk om goed overzicht te bewaren over de gemiddelde beladingsgraad per vracht. Dit wordt dikwijls bijgehouden per regio of per land afhankelijk van de grootte van het bedrijf. De kosten worden zo opgesteld dat de kost van de volle vracht wordt verdeeld over de klanten die de vracht vullen.

Het inschatten van een kost om een eerlijke prijs te bepalen blijft een geëduceerde gok die door de logistieke dienstverlener moet worden gemaakt. De prijs wordt dikwijls aangepast wanneer er een post factum analyse heeft kunnen plaatsvinden met de werkelijke versus initiële inschattingen. Wanneer de markt het toelaat, wordt op voorhand meestal iets meer buffer ingerekend zodat er bij een volgende tariefronde, na enige tijd praktijkervaring, een beter tarief (indien nodig) kan worden afgegeven. Op deze manier wordt ervaring opgedaan en worden de prijzen telkens aangepast aan de kosten om een betere kostenallocatie te bekomen.

# 6 Conclusie en toekomstig onderzoek

## 6.1 Conclusie

In deze masterproef werd onderzocht hoe kosten worden toegewezen aan verschillende klanten op dezelfde route en welke criteria hierbij een rol spelen. De belangrijkste bevindingen en conclusies worden hier geformuleerd.

Voordat de kosten toegewezen kunnen worden, moet eerst een efficiënte rittenplanning worden gevonden. Om een transportsysteem met een efficiënte rittenplanning te realiseren, maakt een logistieke dienstverlener gebruik van rittenplanningsproblemen. Eén van de bekendste is het *vehicle routing problem* (VRP). Het VRP heeft eenvoudig gesteld als doel om een reeks voertuigroutes te bepalen die voldoen aan klanten die geografisch verspreid liggen en de totale kost hieraan verbonden te minimaliseren.

Zodra een efficiënte rittenplanning wordt gevonden aan de hand van het gekozen VRP, ontstaat een nieuwe uitdaging: het alloceren van de kosten op een eerlijke manier over de verschillende klanten. Het is voor een logistieke dienstverlener belangrijk om inzicht te hebben in de kosten die klanten (orders) met zich meebrengen. Enerzijds om toekomstige prijsonderhandelingen met klanten te ondersteunen. Anders loopt de logistieke dienstverlener het risico om de klant kwijt te spelen wanneer elders een eerlijkere prijs wordt aangeboden. Anderzijds wordt deze informatie gebruikt voor de analyse van de winstgevendheid. De kostenallocatiemethodes die het vaakst worden bestudeerd in de literatuur zijn: proportionele toewijzing op basis van het aantal klanten, proportionele toewijzing op basis van de *stand-alone* kost, Shapley, nucleolus, EPM, ECM, ACAM en CGM. De input voor de berekeningen van deze methodes zijn kosten die bepaald worden door de af te leggen afstand.

Wanneer de vraag wordt gesteld welke methode de beste is, kan geen eenduidig antwoord worden geformuleerd. Om die reden zijn criteria in het leven geroepen. Criteria zijn eigenschappen van kostenallocatiemethodes. Het is dan aan de gebruiker om te bepalen welk criteria hij of zij als belangrijk beschouwen. Voornaamste criteria zijn: efficiëntie, symmetrie, additiviteit, dummy, monotone kostenfunctie, cross-monotoniciteit, subadditiviteit, convexiteit, individuele rationaliteit, subgroep rationaliteit en stabiliteit. Een criterium waar in de literatuur veel aandacht aan wordt geschonken is: stabiliteit. Het stabiliteitscriterium is verbonden met de *core* van het kostenspel. De *core* is de verzameling van alle oplossingen die niet verbeterd kunnen worden door het vormen van een subcoalitie. De *core* kan leeg zijn, wat betekent dat het voor een groep van klanten beter is om een andere coalitie te vormen. Er kan dan geen stabiele samenwerking gevormd worden. Wanneer de *core* daarentegen niet leeg is en de kostenallocatie in deze *core* ligt, zal geen enkele klant een prikkel krijgen om zich los te koppelen van de grote coalitie om een andere, kleinere coalitie aan te gaan. De allocatie wordt dan stabiel genoemd.

In de empirische studie is er gestart met het onderzoek van de verschillende kostenallocatiemethodes bij een rittenplanning. Uit de analyse bleek dat de proportionele toewijzing op basis van het aantal

klanten en de ECM soms nadelige resultaten gaf. Er wordt namelijk een negatieve kostenbesparing gerealiseerd, wat betekent dat de gealloceerde kost van de gezamenlijke rittenplanning hoger kan zijn dan de kost van de afzonderlijke rit van die klant. Wanneer de klanten gelijkaardig zijn, in die zin dat de afstand tot elkaar en de afstand van de klant tot het depot ongeveer gelijk zijn, kan voorzichtig geconcludeerd worden dat de methodes wel aangeraden zijn. Opvallend is ook dat ondanks het feit dat veel kostenallocatiemethodes geen garantie bieden op stabiliteit, er toch bij veel methodes allocaties in de core liggen en dus wel stabiel zijn. Wanneer er een gegarandeerde stabiele allocatie gewenst is, is het aangeraden om de nucleolus of EPM te gebruiken. De allocaties van deze methodes liggen altijd in de core wanneer deze niet leeg is. Wanneer een klant sterk afwijkt van de route ten opzichte van de overige klanten, zal de EPM niet altijd gelijke relatieve besparingen realiseren, dit in tegenstelling tot het feit dat deze methode juist een gelijke relatieve kostenbesparing nastreeft.

Het eerlijk toewijzen van kosten wordt nog complexer wanneer tijdsvensters en volumes in acht worden genomen. Doordat de ritsamenstelling verandert ten gevolge van het toepassen van tijdsvensters en volumes, is het niet mogelijk om het effect hiervan op de kostentoe wijzing te onderzoeken op ritniveau. Daarom wordt het effect van tijdsvensters en volumes op de kostentoe wijzing onderzocht op de gehele dataset. Het is dan ook zeer moeilijk om een correcte kostenallocatie te berekenen. Geen enkele kostenallocatiemethode houdt rekening met het feit dat de gevolgde route kan worden beïnvloed. Dit maakt het haast onmogelijk om kosten te berekenen van subcoalities. Wanneer een klant niet meer tot de rit behoort, kan er namelijk een hele nieuwe rittenplanning ontstaan. Daarnaast is er een gebrek aan literatuur omtrent het aanpassen van kostenallocatiemethodes wanneer tijdsvensters en volumes in acht worden genomen. Hierdoor zijn er 2 intuïtieve methodes uitgewerkt, gebaseerd op interviews met enkele transporteurs.

Het opleggen van tijdsvensters bij een rittenplanning zorgt voor een toename van afstand en wachttijd. Bestaande kostenallocatiemethodes gaan de extra afgelegde kilometers verdelen over de verschillende klanten, maar dit lijkt niet eerlijk te gebeuren. Zo zal de meest flexibele klant (breed tijdsvenster) hier niet altijd voor worden beloond en minder flexibele klanten (smal tijdsvensters) zullen in verhouding niet meer kosten toegewezen krijgen. Daarnaast houden bestaande kostenallocatiemethodes geen rekening met eventuele wachttijden en inefficiënties die gepaard gaan met het integreren van tijdsvensters. Er wordt daarom geconcludeerd dat bestaande kostenallocatiemethodes aangepast dienen te worden om beter om te gaan met tijdsvensters. Er wordt een nieuwe intuïtieve methode ontwikkeld die een tariefsysteem gaat opzetten per tijdsvenster. Het aanbieden van tijdsvensters aan de klant wordt gezien als een service waarvoor klanten een extra kost betalen wanneer ze er gebruik van maken. De kostenallocatiemethode zelf wordt niet aangepast, maar de totale extra kost, veroorzaakt door de extra afgelegde kilometers en de ontstane wachttijd ten gevolge van het opleggen van tijdsvensters, wordt gebruikt om de extra kosten van de service te bepalen. De intuïtieve methode wordt zo opgesteld dat flexibele klanten het meest worden beloond.

Bestaande kostenallocatiemethodes zullen ook bij volumes de extra afgelegde kilometers verdelen over het aantal klanten, maar dit lijkt niet eerlijk te gebeuren. Een klant die een groter volume inneemt, krijgt niet altijd in verhouding een hogere kost toegewezen. Een klant die een kleiner

volume inneemt, krijgt niet altijd in verhouding een lagere kost toegewezen. Vandaar wordt geconcludeerd dat bestaande kostenallocatiemethodes eveneens aangepast moeten worden om beter om te gaan met volumes. Bij de nieuwe intuïtieve methode wordt het in rekening brengen van volumes niet gezien als een extra service die wordt aangeboden. Daarom wordt geen extra kost toegewezen aan de klant, maar vindt er een herverdeling van de kosten plaats. In de nieuwe ontwikkelde methode worden niet de kostenallocatiemethodes aangepast, maar de input waarmee de berekeningen gebeuren. Met input wordt bedoeld: de *stand-alone* kosten, kosten van subcoalities en de kost van alle klanten samen. De input voor de kostenallocatiemethode wordt omgerekend rekening houdend met de volumeverdeling op een vracht. Hierbij wordt rekening gehouden met het feit dat kleinere volumes zorgen voor een hogere complexiteit en bijgevolg in verhouding een hogere kost genereren. Op deze manier wordt een eerlijkere manier gevonden om met volumes om te gaan.

In realiteit wordt het integreren van tijdsvensters en volumes bij kostenallocatie voor transportbedrijven als een grote uitdaging ervaren. De toegekende kost is afhankelijk van verschillende parameters zoals: afstand, type leverlocatie, type tijdsvenster, volumes en de duurtijd van laden en lossen. Daarnaast kunnen er ook inefficiënties optreden. Dit zijn gebeurtenissen die op voorhand moeilijk te voorspellen zijn en een invloed hebben op de kosten. Om hier rekening mee te houden, wordt een onzekerheidsfactor ingecalculleerd. Deze parameters worden op voorhand ingevuld door met een potentiële klant een gesprek aan te gaan en zo een tariefsysteem op te stellen. Hierbij is noch de ritsamenstelling noch de ritvolgorde gekend. Bij de bestudeerde kostenallocatiemethodes wordt eerst de ritsamenstelling bepaald waarop vervolgens de gealloceerde kosten zijn gebaseerd. Er wordt dus geconcludeerd dat de kostenallocatiemethodes in realiteit niet worden gebruikt. Echter zouden de bestudeerde kostenallocatiemethodes wel een goede basis vormen om simulaties mee uit te voeren om zo inzicht te verwerven in het eerlijk alloceren van de kosten. Ze zullen een goede indicatie geven, maar ze zijn niet geschikt om een exacte kost voor elke individuele rit op voorhand te bepalen. Klanten willen nu eenmaal voor dezelfde dienstverlening dezelfde kosten toegewezen krijgen en niet afhankelijk zijn van de kost veroorzaakt door wijzigingen in ritsamenstellingen. In de realiteit wordt dan ook ondervonden dat het inschatten van de kosten vaak misloopt. De ene keer is er een onderschatting van de kost en de andere keer een overschatting. Het opstellen van eerlijke kostentoe wijzing blijft vaak een geëduceerde gok die door de logistieke dienstverlener moet worden gemaakt. Inzicht in de kosten wordt verkregen door een post factum analyse uit te voeren met de werkelijke versus initiële inschattingen. De kostenallocatiemethodes kunnen gebruikt worden om deze werkelijke situaties te analyseren om zo inzicht te krijgen in een eerlijke kostenverdeling. Zo wordt ervaring opgedaan en worden de prijzen aangepast om uiteindelijk een betere kostenallocatie te bekomen.

## 6.2 Toekomstig onderzoek

Ten slotte worden nog enkele aanbevelingen gegeven voor toekomstig onderzoek. Aangezien het onderzoeksgebied van kostenallocatiemethodes met inbegrip van tijdsvensters en volumes beperkt is, zijn er zeker opportuniteiten om dit verder te onderzoeken. In deze masterproef werd een voorstel uitgewerkt om kostenallocatiemethodes aan te passen zodat er beter kan worden omgegaan met tijdsvensters en volumes. De ontwikkelde intuïtieve methodes zouden verder onderzocht kunnen

worden. Er zou een toetsing kunnen plaatsvinden aan grotere, realistische datasets om na te gaan in hoeverre de ontwikkelde methodes bruikbaar zijn. Wanneer grotere datasets worden gebruikt, zal er ook meer rekenkracht vereist zijn om de berekeningen te doen. Daarnaast is voor de berekening van de intuïtieve methode in deze masterproef gebruikt gemaakt van de Shapley methode. Een suggestie voor verder onderzoek is om dit ook na te gaan voor de overige bestaande kostenallocatiemethodes.

In deze masterproef is onderzoek verricht naar klanten die goederen kunnen ontvangen van een logistieke dienstverlener. In realiteit is het zo dat er ook goederen opgepikt worden bij klanten en geretourneerd worden naar de logistieke dienstverlener. Dit maakt het opstellen van een goede rittenplanning en vervolgens het eerlijk alloceren van kosten nog veel complexer. Ook dit kan in de toekomst verder onderzocht worden. Tot slot bleek uit de interviews dat in realiteit er risico's verbonden zijn aan het in rekening brengen van tijdsvensters. Een tijdsslot kan bijvoorbeeld gemist worden waardoor een levering pas de volgende dag kan plaatsvinden. Deze risico's zitten nog niet expliciet vervat in de nieuwe intuïtieve methode. Verder onderzoek zou hiervoor nodig zijn.

# 7 Bijlagen

## Bijlage A

### DATASET 2 KLANTEN

Naam	Adres	Latitude	Longitude	Tijdsvenster start – stop	Service- tijd	Bezorg- hoeveelheid (%)
DEPOT	Brussel	50,8455353	4,3557072	0:00 – 23:59		
Klant 1	Peer	51,1329575	5,4517469	0:00 – 23:59	0:30	0
Klant 2	Aarlen	49,6843567	5,8168230	0:00 – 23:59	0:30	0
Klant 3	Diksmuide	51,0317993	2,8637681	0:00 – 23:59	0:30	0
Klant 4	Jabbeke	51,1824760	3,0929670	0:00 – 23:59	0:30	0
Klant 5	Lokeren	51,1040421	3,9910960	0:00 – 23:59	0:30	0
Klant 6	Gingelom	50,7500458	5,1352191	0:00 – 23:59	0:30	0
Klant 7	Spa	50,4923630	5,8632512	0:00 – 23:59	0:30	0
Klant 8	Chimay	50,0483971	4,3117862	0:00 – 23:59	0:30	0
Klant 9	Hoegaarden	50,7733269	4,8875990	0:00 – 23:59	0:30	0
Klant 10	Bevekom	50,7802277	4,7725401	0:00 – 23:59	0:30	0

### DATASET 2 VOERTUIGEN

Start	Vaste kost (€)	Kost per eenheid afstand (€)	Starttijd werk	Rijtijd limiet	Werktijd limiet	Retour	Aantal voertuigen
Depot	0,00	1,00	8:00	9:00	10:00	Depot	5



### DATASTE 2 GEGEVENS RIT 1

Naam	Afgelegde afstand (km)	Rijtijd	Aankomsttijd	Vertrektijd	Werktijd
Depot	0,00	0:00		08:00	0:00



Klant 8	112,94	1:34	09:34	09:34	1:34
Klant 2	282,92	3:22	11:22	11:22	3:22
Klant 7	399,84	4:43	12:43	12:43	4:43
Klant 6	481,05	5:36	13:36	13:36	5:36
Klant 9	504,91	5:59	13:59	13:59	5:59
Klant 10	514,58	6:12	14:12	14:12	6:12
Depot	555,53	6:47	14:47		6:47

#### DATASET 2 GEGEVENS RIT 2

Naam	Afgelegde afstand (km)	Rijtijd	Aankomsttijd	Vertrektijd	Werktijd
Depot	0,00	0:00		08:00	0:00
Klant 3	130,88	1:28	09:28	09:28	1:28
Klant 4	163,75	1:57	09:57	09:57	1:57
Klant 5	242,04	2:45	10:45	10:45	2:45
Klant 1	357,77	4:12	12:12	12:12	4:12
Depot	455,05	5:21	13:21		5:21

## Bijlage B

#### DATASET 1 - RIT 1

Coalitie	Combinatie van rit	Optimale kost (€)
1	Depot-Customer 5-Depot	162,83
2	Depot-Customer 4-Depot	181,71
12	Depot-Customer 5-Customer 4-Depot	180,16
3	Depot-Customer 8-Depot	208,62
13	Depot-Customer 5-Customer 8-Depot	212,55
23	Depot-Customer 4-Customer 8-Depot	213,10
123	Depot-Customer 5-Customer 4-Customer 8-Depot	211,55
4	Depot-Customer 6-Depot	143,54
14	Depot-Customer 5-Customer 6-Depot	170,37
24	Depot-Customer 4-Customer 6-Depot	179,61
124	Depot-Customer 5-Customer 4-Customer 6-Depot	178,16
34	Depot-Customer 8-Customer 6-Depot	195,75
134	Depot-Customer 5-Customer 8-Customer 6-Depot	199,67
234	Depot-Customer 4-Customer 8-Customer 6-Depot	200,57
1234	Depot-Customer 5-Customer 4-Customer 8-Customer 6-Depot	199,13
5	Depot-Customer 3-Depot	205,47
15	Depot-Customer 5-Customer 3-Depot	320,98
25	Depot-Customer 4-Customer 3-Depot	320,86
125	Depot-Customer 5-Customer 4-Customer 3-Depot	319,31

35	Depot-Customer 8-Customer 3-Depot	317,62
135	Depot-Customer 5-Customer 8-Customer 3-Depot	322,37
235	Depot-Customer 4-Customer 8-Customer 3-Depot	322,10
1235	Depot-Customer 5-Customer 4-Customer 8-Customer 3-Depot	320,55
45	Depot-Customer 6-Customer 3-Depot	270,27
145	Depot-Customer 5-Customer 6-Customer 3-Depot	297,10
245	Depot-Customer 4-Customer 6-Customer 3-Depot	306,34
1245	Depot-Customer 5-Customer 4-Customer 6-Customer 3-Depot	304,90
345	Depot-Customer 8-Customer 6-Customer 3-Depot	304,74
1345	Depot-Customer 5-Customer 8-Customer 6-Customer 3-Depot	326,41
2345	Depot-Customer 4-Customer 8-Customer 6-Customer 3-Depot	320,00
12345	Depot-Customer 5-Customer 4-Customer 8-Customer 6-Customer 3-Depot	325,86

### DATASET 1 - RIT 2

<b>Coalitie</b>	<b>Combinatie van rit</b>	<b>Optimale kost (€)</b>
1	Depot-Customer 9-Depot	177,24
2	Depot-Customer 2-Depot	227,00
12	Depot-Customer 9-Customer 2-Depot	297,67
3	Depot-Customer 1-Depot	113,50
13	Depot-Customer 9-Customer 1-Depot	223,64
23	Depot-Customer 2-Customer 1-Depot	237,88
123	Depot-Customer 9-Customer 2-Customer 1-Depot	309,62
4	Depot-Customer 10-Depot	94,14
14	Depot-Customer 9-Customer 10-Depot	247,80
24	Depot-Customer 2-Customer 10-Depot	262,33
124	Depot-Customer 9-Customer 2-Customer 10-Depot	333,76
34	Depot-Customer 1-Customer 10-Depot	145,18
134	Depot-Customer 9-Customer 1-Customer 10-Depot	255,36
234	Depot-Customer 2-Customer 1-Customer 10-Depot	269,56
1234	Depot-Customer 9-Customer 2-Customer 1-Customer 10-Depot	341,33
5	Depot-Customer 7-Depot	59,41
15	Depot-Customer 9-Customer 7-Depot	218,43
25	Depot-Customer 2-Customer 7-Depot	232,44
125	Depot-Customer 9-Customer 2-Customer 7-Depot	304,29
35	Depot-Customer 1-Customer 7-Depot	118,94
135	Depot-Customer 9-Customer 1-Customer 7-Depot	230,26
235	Depot-Customer 2-Customer 1-Customer 7-Depot	243,32
1235	Depot-Customer 9-Customer 2-Customer 1-Customer 7-Depot	315,20
45	Depot-Customer 10-Customer 7-Depot	110,40
145	Depot-Customer 9-Customer 10-Customer 7-Depot	264,06
245	Depot-Customer 2-Customer 10-Customer 7-Depot	268,52

1245	Depot-Customer 9-Customer 2-Customer 10-Customer 7-Depot	350,02
345	Depot-Customer 1-Customer 10-Customer 7-Depot	150,65
1345	Depot-Customer 9-Customer 1-Customer 10-Customer 7-Depot	271,62
2345	Depot-Customer 2-Customer 1-Customer 10-Customer 7-Depot	276,09
12345	Depot-Customer 9-Customer 2-Customer 1-Customer 10-Customer 7-Depot	357,59

**DATASET 2 - RIT 1**

<b>Coalitie</b>	<b>Combinatie van rit</b>	<b>Optimale kost (€)</b>
1	Depot-Customer 3-Depot	261,97
2	Depot-Customer 4-Depot	202,24
12	Depot-Customer 3-Customer 4-Depot	265,05
3	Depot-Customer 5-Depot	119,18
13	Depot-Customer 3-Customer 5-Depot	298,20
23	Depot-Customer 4-Customer 5-Depot	238,48
123	Depot-Customer 3-Customer 4-Customer 5-Depot	301,28
4	Depot-Customer 1-Depot	196,33
14	Depot-Customer 3-Customer 1-Depot	443,54
24	Depot-Customer 4-Customer 1-Depot	383,81
124	Depot-Customer 3-Customer 4-Customer 1-Depot	446,62
34	Depot-Customer 5-Customer 1-Depot	272,95
134	Depot-Customer 3-Customer 5-Customer 1-Depot	451,96
234	Depot-Customer 4-Customer 5-Customer 1-Depot	392,24
1234	Depot-Customer 3-Customer 4-Customer 5-Customer 1-Depot	455,05

**DATASET 1 - RIT 1 EXTRA**

<b>Coalitie</b>	<b>Combinatie van rit</b>	<b>Optimale kost (€)</b>
1	Depot-Customer 5-Depot	162,83
2	Depot-Customer 4-Depot	181,71
12	Depot-Customer 5-Customer 4-Depot	180,16
3	Depot-Customer 8-Depot	208,62
13	Depot-Customer 5-Customer 8-Depot	212,55
23	Depot-Customer 4-Customer 8-Depot	213,10
123	Depot-Customer 5-Customer 4-Customer 8-Depot	211,55
4	Depot-Customer 6-Depot	143,54
14	Depot-Customer 5-Customer 6-Depot	170,37
24	Depot-Customer 4-Customer 6-Depot	179,61
124	Depot-Customer 5-Customer 4-Customer 6-Depot	178,16
34	Depot-Customer 8-Customer 6-Depot	195,75
134	Depot-Customer 5-Customer 8-Customer 6-Depot	199,67

234	Depot-Customer 4-Customer 8-Customer 6-Depot	200,57
1234	Depot-Customer 5-Customer 4-Customer 8-Customer 6-Depot	199,13

### DATASET 1 - RIT 2 EXTRA

Coalitie	Combinatie van rit	Optimale kost (€)
1	Depot-Customer 1-Depot	113,50
2	Depot-Customer 5-Depot	162,83
12	Depot-Customer 1-Customer 5-Depot	273,17
3	Depot-Customer 4-Depot	181,71
13	Depot-Customer 1-Customer 4-Depot	292,04
23	Depot-Customer 5-Customer 4-Depot	180,16
123	Depot-Customer 1-Customer 5-Customer 4-Depot	290,49
4	Depot-Customer 6-Depot	143,54
14	Depot-Customer 1-Customer 6-Depot	257,58
24	Depot-Customer 5-Customer 6-Depot	170,37
124	Depot-Customer 1-Customer 5-Customer 6-Depot	280,70
34	Depot-Customer 4-Customer 6-Depot	179,61
134	Depot-Customer 1-Customer 4-Customer 6-Depot	289,94
234	Depot-Customer 5-Customer 4-Customer 6-Depot	178,16
1234	Depot-Customer 1-Customer 5-Customer 4-Customer 6-Depot	288,49

## Bijlage C

### DATASET KLANTEN (TIJDSVENSTERS)

Naam	Adres	Latitude	Longitude	Tijdsvenster start - stop	Service- tijd	Bezorg- hoeveelheid (%)
DEPOT	Brussel	50,84553528	4,355707169	0:00 - 23:59		
Klant 1	Gent	51,05381775	3,722271919	00:00 - 23:59	0:30	0
Klant 2	Oostende	51,22516251	2,913826942	00:00 - 23:59	0:30	0
Klant 3	Dinant	50,26066208	4,912174225	00:00 - 23:59	0:30	0
Klant 4	Diepenbeek	50,90778351	5,419690132	00:00 - 23:59	0:30	0
Klant 5	Hasselt	50,92973328	5,338226795	08:00 - 09:00	0:30	0
Klant 6	Hoepertingen	50,81158447	5,285194874	09:00 - 10:00	0:30	0
Klant 7	Aalst	50,93747711	4,041035175	13:00 - 14:00	0:30	0
Klant 8	Tongeren	50,79240799	5,537490845	08:00 - 10:00	0:30	0
Klant 9	Doornik	50,60555267	3,38786602	10:00 - 12:00	0:30	0
Klant 10	Sint-Niklaas	51,16454697	4,139223099	09:00 - 12:00	0:30	0
Klant 11	Peer	51,1329575	5,4517469	11:00 - 14:00	0:30	0
Klant 12	Aarlen	49,6843567	5,816823	10:00 - 14:00	0:30	0
Klant 13	Diksmuide	51,0317993	2,8637681	08:00 - 13:00	0:30	0
Klant 14	Jabbeke	51,182476	3,092967	09:00 - 14:00	0:30	0

Klant 15	Lokeren	51,1040421	3,991096	08:00 - 12:00	0:30	0
Klant 16	Gingelom	50,7500458	5,1352191	00:00 - 23:59	0:30	0
Klant 17	Spa	50,492363	5,8632512	00:00 - 23:59	0:30	0
Klant 18	Chimay	50,0483971	4,3117862	00:00 - 23:59	0:30	0
Klant 19	Hoegaarden	50,7733269	4,887599	12:00 - 14:00	0:30	0
Klant 20	Bevekom	50,7802277	4,7725401	10:00 - 14:00	0:30	0

## Bijlage D

### DATASET KLANTEN (VOLUMES)

Naam	Adres	Latitude	Longitude	Tijdsvenster start - stop	Service- tijd	Bezorg- hoeveelheid (%)
DEPOT	Brussel	50,84553528	4,355707169	0:00 - 23:59		
Klant 1	Gent	51,05381775	3,722271919	00:00 - 23:59	0:30	5
Klant 2	Oostende	51,22516251	2,913826942	00:00 - 23:59	0:30	10
Klant 3	Dinant	50,26066208	4,912174225	00:00 - 23:59	0:30	20
Klant 4	Diepenbeek	50,90778351	5,419690132	00:00 - 23:59	0:30	15
Klant 5	Hasselt	50,92973328	5,338226795	00:00 - 23:59	0:30	40
Klant 6	Hoepertingen	50,81158447	5,285194874	00:00 - 23:59	0:30	10
Klant 7	Aalst	50,93747711	4,041035175	00:00 - 23:59	0:30	30
Klant 8	Tongeren	50,79240799	5,537490845	00:00 - 23:59	0:30	50
Klant 9	Doornik	50,60555267	3,38786602	00:00 - 23:59	0:30	60
Klant 10	Sint-Niklaas	51,16454697	4,139223099	00:00 - 23:59	0:30	80
Klant 11	Peer	51,1329575	5,4517469	00:00 - 23:59	0:30	70
Klant 12	Aarlen	49,6843567	5,816823	00:00 - 23:59	0:30	30
Klant 13	Diksmuide	51,0317993	2,8637681	00:00 - 23:59	0:30	15
Klant 14	Jabbeke	51,182476	3,092967	00:00 - 23:59	0:30	30
Klant 15	Lokeren	51,1040421	3,991096	00:00 - 23:59	0:30	40
Klant 16	Gingelom	50,7500458	5,1352191	00:00 - 23:59	0:30	10
Klant 17	Spa	50,492363	5,8632512	00:00 - 23:59	0:30	25
Klant 18	Chimay	50,0483971	4,3117862	00:00 - 23:59	0:30	15
Klant 19	Hoegaarden	50,7733269	4,887599	00:00 - 23:59	0:30	5
Klant 20	Bevekom	50,7802277	4,7725401	00:00 - 23:59	0:30	30

## Bijlage E

### DATASET OPTIMALE KOST VOLUME

Ritsamenstelling	Optimale kost (€)	Optimale kost volume (€)
Depot-Klant 5-Depot	162,83	21,19
Depot-Klant 4-Depot	181,71	26,39
Depot-Klant 5-Klant 4-Depot	180,16	49,61
Depot-Klant 8-Depot	208,62	49,47

Depot-Klant 5-Klant 8-Depot	212,55	78,07
Depot-Klant 4-Klant 8-Depot	213,10	81,48
Depot-Klant 5-Klant 4-Klant 8-Depot	211,55	108,43
Depot-Klant 6-Depot	143,54	28,78
Depot-Klant 5-Klant 6-Depot	170,37	56,33
Depot-Klant 4-Klant 6-Depot	179,61	62,09
Depot-Klant 5-Klant 4-Klant 6-Depot	178,16	84,78
Depot-Klant 8-Klant 6-Depot	195,75	85,66
Depot-Klant 5-Klant 8-Klant 6-Depot	199,67	113,37
Depot-Klant 4-Klant 8-Klant 6-Depot	200,57	116,90
Depot-Klant 5-Klant 4-Klant 8-Klant 6-Depot	199,13	141,98
Depot-Klant 3-Depot	205,47	58,97
Depot-Klant 5-Klant 3-Depot	320,98	133,89
Depot-Klant 4-Klant 3-Depot	320,86	138,68
Depot-Klant 5-Klant 4-Klant 3-Depot	319,31	179,57
Depot-Klant 8-Klant 3-Depot	317,62	166,47
Depot-Klant 5-Klant 8-Klant 3-Depot	322,37	210,92
Depot-Klant 4-Klant 8-Klant 3-Depot	322,10	215,60
Depot-Klant 5-Klant 4-Klant 8-Klant 3-Depot	320,55	256,28
Depot-Klant 6-Klant 3-Depot	270,27	131,75
Depot-Klant 5-Klant 6-Klant 3-Depot	297,10	183,50
Depot-Klant 4-Klant 6-Klant 3-Depot	306,34	193,83
Depot-Klant 5-Klant 4-Klant 6-Klant 3-Depot	304,90	232,59
Depot-Klant 8-Klant 6-Klant 3-Depot	304,74	220,82
Depot-Klant 5-Klant 8-Klant 6-Klant 3-Depot	326,41	279,00
Depot-Klant 4-Klant 8-Klant 6-Klant 3-Depot	320,00	278,35
Depot-Klant 5-Klant 4-Klant 8-Klant 6-Klant 3-Depot	325,86	325,86



## 8 Referenties

- Audy, J. F., D'Amours, S., & Rousseau, L. M. (2017). Cost allocation in the establishment of a collaborative transportation agreement—an application in the furniture industry. *The Journal of the Operational Research Society*, 62(6), 960-970. doi:10.1057/jors.2010.53
- Bygballe, L. E., Bø, E., & Grønland, S. E. (2012). Managing international supply: The balance between total costs and customer service. *Industrial Marketing Management*, 41(3), 394-401. doi:10.1016/j.indmarman.2011.06.013
- Cordeau, J.-F., Laporte, G., Savelsbergh, M. W. P., & Vigo, D. (2007). Chapter 6 Vehicle Routing (Vol. 14, pp. 367-428): Elsevier B.V.
- Crujssen, F. (2012). Operational and legal framework for collaboration. 5.
- Crujssen, F., Bräysy, O., Dullaert, W., Fleuren, H., & Salomon, M. (2007). Joint route planning under varying market conditions. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, 37(4), 287-304. doi:10.1108/09600030710752514
- Crujssen, F., Salomon, M., 2004. Empirical study: order sharing between transportation companies may result in cost reductions between 5 to 15 percent. Discussion paper 2004-80, CentER research institute, Tilburg University.
- Dantzig, G. B., & Ramser, J. H. (1959). The Truck Dispatching Problem. *Management science*, 6(1), 80-91. doi:10.1287/mnsc.6.1.80
- Defryn, C., Sörensen, K., & Cornelissens, T. (2016). The selective vehicle routing problem in a collaborative environment. *European Journal of Operational Research*, 250(2), 400-411. doi:10.1016/j.ejor.2015.09.059
- Drechsel, J., & Kimms, A. (2010). Computing core allocations in cooperative games with an application to cooperative procurement. *International journal of production economics*, 128(1), 310-321. doi:10.1016/j.ijpe.2010.07.027
- Engevall, S., Göthe-Lundgren, M., & Värbrand, P. (2004). The heterogeneous vehiclerouting game. *Transportation Science*, 38(1), 71-85. doi:10.1287/trsc.1030.0035
- Eren Akyol, D., & De Koster, R. B. M. (2018). Determining time windows in urban freight transport: A city cooperative approach. *Transportation research. Part E, Logistics and transportation review*, 118, 34-50. doi:10.1016/j.tre.2018.07.004



- Florio, A. M., Feillet, D., & Hartl, R. F. (2018). The delivery problem: Optimizing hit rates in e-commerce deliveries. *Transportation research. Part B: methodological*, 117(A), 455-472. doi:10.1016/j.trb.2018.09.011
- Frisk, M., Göthe-Lundgren, M., Jörnsten, K., & Rönnqvist, M. (2010). Cost allocation in collaborative forest transportation. *European Journal of Operational Research*, 205(2), 448-458. doi:10.1016/j.ejor.2010.01.015
- Guajardo, M., & Rönnqvist, M. (2016). A review on cost allocation methods in collaborative transportation. *International Transactions in Operational Research*, 23(3), 371-392. doi:10.1111/itor.12205
- Hamdi-Dhaoui, K., Labadie, N., & Yalaoui, A. (2011). The Vehicle Routing Problem with Conflicts. 44(1), 9799-9804.
- Hiller, F. S., & Lieberman, G. J. (2015). Introduction to Operations Research. In McGraw-Hill (Ed.).
- Jurčević, M., Mandžuka, B., & Bubalo, T. (2018). Influence of costs on the optimization of transport routes (case study) – Passenger transportation company from Zagreb. *EKONOMSKI VJESNIK / ECONVIEWS : REVIEW OF CONTEMPORARY BUSINESS, ENTREPRENEURSHIP AND ECONOMIC ISSUES*, 31(1), 65-73.
- Laporte, G., & Osman, I. H. (1995). Routing problems: A bibliography. *Annals of operations research*, 61(1), 227-262. doi:10.1007/bf02098290
- Lu, W., & Quadrioglio, L. (2019). Fair cost allocation for ridesharing services – modeling, mathematical programming and an algorithm to find the nucleolus. *Transportation research. Part B: methodological*, 121, 41-55. doi:10.1016/j.trb.2019.01.001
- 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. doi:10.1016/j.ejor.2012.08.015
- Potvin, J.-Y. (2009). State-of-the Art Review —Evolutionary Algorithms for Vehicle Routing. *INFORMS journal on computing*, 21(4), 518-548. doi:10.1287/ijoc.1080.0312
- Prins, C. (2004). A simple and effective evolutionary algorithm for the vehicle routing problem. *Computers & operations research*, 31(12), 1985-2002. doi:10.1016/s0305-0548(03)00158-8
- Ramaekers, K., Verdonck, L., Caris, A., Meers, D., & Macharis, C. (2016). *Analysis of cost allocation techniques for freight bundling networks in intermodal transport.*

- Schmeidler, D. (1969). The Nucleolus of a Characteristic Function Game. *SIAM journal on applied mathematics*, 17(6), 1163-1170. doi:10.1137/0117107
- Sun, L., Rangarajan, A., Karwan, M. H., & Pinto, J. M. (2015). Transportation cost allocation on a fixed route. *Computers & Industrial Engineering*, 83, 61-73. doi:10.1016/j.cie.2015.02.004
- Tijs, S. H., & Driessen, T. S. H. (1986). Game Theory and Cost Allocation Problems. *Management science*, 32(8), 1015-1028. doi:10.1287/mnsc.32.8.1015
- Van Breedam, A. (1995). Improvement heuristics for the Vehicle Routing Problem based on simulated annealing. *European Journal of Operational Research*, 86(3), 480-490. doi:10.1016/0377-2217(94)00064-J
- Vanovermeire, C., & Sörensen, K. (2014). Integration of the cost allocation in the optimization of collaborative bundling. *Transportation Research Part E*, 72, 125-143. doi:10.1016/j.tre.2014.09.009
- Verdonck, L., Beullens, P., Caris, A., Ramaekers, K., & Janssens, G. K. (2016). Analysis of collaborative savings and cost allocation techniques for the cooperative carrier facility location problem. *Journal of the Operational Research Society*, 67(6), 853-871. doi:10.1057/jors.2015.106
- Verdonck, L., Caris, A. N., Ramaekers, K., & Janssens, G. K. (2013). Collaborative Logistics from the Perspective of Road Transportation Companies. *Transport Reviews*, 33(6), 700-719. doi:10.1080/01441647.2013.853706
- Verdonck, L., Ramaekers, K., Depaire, B., Caris, A., & Janssens, G. K. (2017). *Analysing collaborative performance and cost allocation for the joint route planning problem.*
- Vos, B. D., & Raa, B. (2018). Stability Analysis of Cost Allocation Methods for Inventory Routing. *IFAC PapersOnLine*, 51(11), 1682-1688. doi:10.1016/j.ifacol.2018.08.214
- Weise, T., Podlich, A., & Gorltdt, C. (2009). Solving Real-World Vehicle Routing Problems with Evolutionary Algorithms. 27.