



**UHASSELT**

KNOWLEDGE IN ACTION

## Faculteit Bedrijfseconomische Wetenschappen

master handelsingenieur

### **Masterthesis**

***De integratie van voorraad- en rittenplanningsbeslissingen in de context van stadslogistiek***

#### **Matteo Livi**

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

**2021**  
**2022**



# Faculteit Bedrijfseconomische Wetenschappen

master handelsingenieur

## ***Masterthesis***

***De integratie van voorraad- en rittenplanningsbeslissingen in de context van stadslogistiek***

### **Matteo Livi**

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 2021-2022. 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

In deze masterproef wordt het onderzoek naar "Hoe een Stedelijk Consolidatie Centrum door de voorraad- en rittenplanningsbeslissingen te integreren optimaal te werk kan gaan" besproken. Het geschreven resultaat van dit onderzoek zal dienen ter afsluiting van mijn studie Handelsingenieur – Operationeel Management en Logistiek. Gedurende het voorbije academiejaar 2021-2022 heb ik vele dagen achter mijn laptop gezeten om dit resultaat te bekomen. Omdat het onderwerp van deze masterproef mijn eerste keuze was, heb ik dit altijd met veel motivatie gedaan. Hoewel ik zeer trots ben om deze opdracht te voltooien, was het geen makkelijke uitdaging om alleen te doen. Daarom wil ik graag alle mensen bedanken die mij hierbij hebben geholpen.

Allereerst wil ik mijn promotor Prof. dr. Kris Braekers bedanken voor alle contactmomenten en om mij altijd nuttig advies te geven. Dankzij de contactmomenten en het advies kon ik altijd mijn kalmte terugvinden wanneer ik deze even kwijt was. Daarnaast wil ik zeker en vast Titi Iswari, doctoraatsstudent aan de UHasselt, bedanken om haar simulatiemodel ter beschikking te stellen voor mijn masterproef. Zonder dit model was het praktijkgedeelte niet mogelijk geweest. Voorts wil ik mijn vrienden en vriendin bedanken om mij te steunen en raad te geven waar nodig. Ten slotte wil ik mijn mama bedanken voor alle hulp, steun en liefde die zij mij gegeven heeft tijdens mijn vijf academiejaren aan de UHasselt.



## SAMENVATTING

### 1 Inleiding

Steden vervullen tegenwoordig een onmisbare rol bij hun bijdrage aan de nationale economie. Het vervullen van deze rol wordt steeds moeilijker door het stijgende aantal mensen die naar de binnensteden trekken en de groeiende *e-commerce* cijfers. Immers hoe meer mensen in de steden wonen, hoe drukker het er wordt en hoe minder plaats er beschikbaar is. Om deze onmisbare rol te blijven vervullen, moeten steden het hoofd bieden aan allerlei uitdagingen rondom de stedelijke logistiek. De leveranciers van de binnensteden zijn verantwoordelijk om ervoor te zorgen dat de handelaars niet zonder voorraad komen te staan. Een grote uitdaging voor leveranciers is om een oplossing te vinden voor het voorraad-rittenplanningsprobleem (VRP). Hierbij regelen leveranciers het voorraadbeheer van klanten door dagelijks drie belangrijke keuzes omtrent de rittenplanning efficiënt op elkaar af te stemmen. Deze drie keuzes zijn: tijdstip van levering, hoeveelheid goederen per levering en combinatie klanten per rit. Om het B2B-goederentransport efficiënt te laten verlopen moeten leveranciers efficiënte, duurzame oplossingen vinden. Een voorbeeld van een slimme oplossing is de aanleg van een Stedelijk Consolidatie Centrum (SCC). Een centraal gelegen SCC dient als hulpmiddel bij het oplossen van VRP. De functie van een SCC is om verschillende inkomende zendingen te consolideren, om vervolgens met andere (eigen) voertuigen de goederen in de binnenstad te leveren.

Ondanks alle potentiële voordelen van SCC, zijn er echter nog niet veel succesvolle projecten in steden geweest. Daarom wordt er in deze masterproef gezocht naar een antwoord op de centrale onderzoeksvraag "*Hoe kan een Stedelijk Consolidatie Centrum door de voorraad- en rittenplanningsbeslissingen te integreren optimaal te werk gaan?*". Deze vraag wordt beantwoord door middel van een uitgebreide literatuurstudie gevolgd door een praktijkonderzoek met verschillende experimenten.

### 2 Literatuurstudie

In het eerste deel van de literatuurstudie komt het Stedelijk Consolidatie Centrum (SCC) aan bod. Het hoofdstuk omtrent het SCC bestaat uit vijf onderdelen die aantonen dat een SCC een duurzame, efficiënte en kostenbesparende oplossing voor de stedelijke bevoorrading is. Het eerste onderdeel biedt een uitleg over de werking van een SCC met alle betrokken partijen. Het tweede onderdeel is verder opgedeeld in vijf delen: de *last-mile*<sup>1</sup> levering, de integratie van voorraadbeheer en rittenplanningen in een SCC, de nodige samenwerking tussen onderlinge betrokken partijen, de voordelen verbonden aan een SCC en een impactanalyse van de voordelen over de respectievelijke betrokken partijen. In het derde onderdeel komen alle nodige vereisten van een succesvol SCC aan bod. Zo heeft een succesvol SCC een rendabel business model, een geschikte locatie, een sterk netwerk van onderlinge relaties, voldoende logistieke partners die samenwerken met het SCC en subsidies van de overheid nodig. Het vierde onderdeel betreft alle mogelijke problemen die het succes

---

<sup>1</sup> Definitie van *last-mile*: De *last-mile* levering is het finale onderdeel van een *supply chain* om de handelaars te voorzien van de juiste bestelling.



van een SCC kunnen beïnvloeden. Dit zijn interne belangenconflicten, legale problemen of onderschatting van het nut van een SCC. Ten slotte bevat het vijfde onderdeel een overzichtelijke conclusie.

Het tweede deel van de literatuurstudie bespreekt het Voorraad- Rittenplanningsprobleem (VRP). Het hoofdstuk van het VRP is ook opgebouwd uit vijf onderdelen. In het eerste onderdeel wordt het begrip VRP uitgelegd, in combinatie met een illustratief voorbeeld waarbij de rol van een SCC in het VRP duidelijk wordt. Het tweede onderdeel bespreekt een lijst van diverse criteria om een VRP model te classificeren. Deze classificatie brengt structuur bij een VRP, wat nodig is want elk VRP is verschillend. Het derde onderdeel beschrijft de evolutie van de VRP modellen doorheen de jaren. De evolutie start met de statische, deterministische<sup>2</sup> VRP modellen en eindigt bij de dynamische, stochastische<sup>2</sup> VRP modellen met mogelijke uitbreidingen. Het vierde onderdeel geeft een oplossingsmethode om het VRP aan te pakken. Ten slotte bespreekt het vijfde onderdeel de verdere vooruitgang van VRP modellen naar de toekomst toe.

### 3 Praktijkonderzoek

Bij het praktijkonderzoek werden experimenten op verschillende scenario's uitgevoerd. Deze experimenten maakten gebruik van parameters met realistisch toegekende waarden en hebben betrekking op twee distinctieve onderzoeksdoelen. Enerzijds wordt de impact van de afstand tussen de verschillende leveranciers en de handelaars in de binnenstad geanalyseerd. Anderzijds worden er experimenten gedaan met betrekking tot de variabiliteit in de dagelijkse vraaghoeveelheid naar goederen van de klanten aan de handelaars.

Het praktijkgedeelte start met een bespreking van het algoritmische simulatiemodel waarbij drie verschillende scenario's, met of zonder SCC, voor het stedelijke bevoorradingsproces mogelijk zijn.

- Het eerste scenario stelt het stedelijke bevoorradingsprobleem zonder SCC voor. Dit betekent dat leveranciers elk afzonderlijk hun klanten, aldus de handelaars, in het stadscentrum met bestelwagens zullen beleveren.
- Bij het tweede scenario is er wel een SCC dat dient als centraal depot, maar zonder volledige integratie van het voorraadbeheer en de rittenplanningen in het SCC. De leveranciers leveren nu eerst aan het SCC, zodat alle bestellingen op de centrale plek samenkomen. Het transport vanuit het SCC wordt nu gezamenlijk georganiseerd om met bestelwagens en fietsen de correcte bestellingen aan de juiste handelaar af te leveren.
- Het derde scenario is een uitbreiding op het tweede scenario waarbij het voorraadbeheer en de rittenplanning van het SCC wel volledig geïntegreerd zijn.

---

<sup>2</sup> Statisch: Informatie over de vraag is op voorhand volledig beschikbaar.

Dynamisch: Informatie over de vraag komt gedurende de planning periode geleidelijk aan beschikbaar.

Deterministisch: Informatie over de vraag is volledig gekend.

Stochastisch: Informatie over de vraag is niet volledig gekend omdat er een zekere onzekerheid rond heerst.

De experimenten van het praktijkonderzoek hebben enkel betrekking op verschillende situaties voor scenario's één en twee. Voor het derde scenario was nog geen simulatiemodel beschikbaar.

Vanuit de resultaten van beide onderzoeksdoelen bleek dat, ongeacht de locatie van de leveranciers of de variabiliteit van de vraag, het tweede scenario met SCC altijd zal leiden tot lagere totale kosten. De implementatie van een SCC verhoogde de ladingsfactoren van de voertuigen (2,5 keer hoger), bood de optie van een heterogene voertuigenvloot aan en leverde allerlei voordelen (financieel, sociaal en milieu gebonden) op voor alle betrokken partijen. Zodanig zorgden de milieuvriendelijke fietsen, samen met de verhoogde laadfactoren, er voor dat er minder voertuigen nodig waren om alle handelaars te bevoorraden. Minder voertuigen betekende dat er minder emissies uitgestoten werden. Verder daalden de geluidsoverlastkosten en waren er minder opstoppingen in de binnenstad. Dankzij alle voordelen werden er veel kilometers en tijd bespaard. De besparingen op het aantal afgelegde kilometers en tijd leiden tot lagere kosten voor de betrokken partijen.

## **4 Conclusie & beperkingen**

Vanuit deze masterproef kan geconcludeerd worden dat het implementeren van een SCC als slimme oplossing nabij de stadsrand, zeker een handig hulpmiddel is om het leven van de verspreide leveranciers buiten de stad makkelijker te maken. Des te verder de leveranciers van de binnenstad gelegen zijn, des te hoger de nood aan een SCC. Ondanks dat de variabiliteit van de vraag naar goederen geen tot weinig impact heeft indien er een SCC is, kan het nooit kwaad om informatie omtrent de nodige hoeveelheid goederen tijdig door te geven aan de leveranciers. Hierdoor blijft het stedelijke bevoorradingsproces efficiënt verlopen en stemmen de onderlinge betrokken partijen zich beter op elkaar af.

Er zijn echter ook enkele kritische beperkingen om te vermelden. Een eerste beperking is dat de experimenten op een relatief kleine schaal zijn uitgevoerd ten opzichte van de realiteit. Voorts kon het derde scenario niet gebruikt worden waardoor er geen uitspraak mogelijk is over de voordelen van volledige integratie in het SCC. Tot slot moet er nog vermeld worden dat het onderzoek betrekking heeft op een onderwerp waarvoor er nog steeds nieuwe literatuur wordt toegevoegd. Het is dus mogelijk dat niet alle relevante aspecten van dit onderwerp in deze masterproef aan bod kwamen.



# INHOUDSOPGAVE

WOORD VOORAF	i
SAMENVATTING	iii
INHOUDSOPGAVE	vii
LIJST VAN FIGUREN	xi
LIJST VAN TABELLEN	xiii
1 INLEIDING	1
1.1 Praktijkrelevantie	1
1.1.1 Groeiende belang van steden	1
1.1.2 Bevoorrading in de steden	1
1.1.3 Stedelijke logistiek en haar problemen	2
1.1.4 Oplossing voor de stedelijke logistiek	3
1.1.5 Criteria voor een succesvol SCC	4
1.1.6 Optimalisatie naar de toekomst toe	5
1.2 Onderzoeksvraag	6
1.3 Methodologie	7
1.3.1 Literatuurstudie	7
1.3.2 Praktijkonderzoek	8
2 Stedelijk Consolidatie Centrum	9
2.1 Het begrip SCC	9
2.2 SCC als slimme oplossing voor de stedelijke problematiek	10
2.2.1 De last-mile van het stedelijke bevoorradingsproces	11
2.2.2 Integratie van voorraadbeheer en rittenplanningen in een SCC	12
2.2.3 Samenwerking tussen de onderlinge partijen	13
2.2.4 Voordelen bij de implementatie van een SCC	14
2.2.5 Impactanalyse voordelen SCC over de betrokken partijen	16
2.3 De opbouw van een succesvol SCC	17
2.3.1 Business model voor de stedelijke logistiek	17
2.3.2 Locatieselectieproces	20
2.3.3 Structurele voorwaarden SCC	22
2.4 Problemen die het succes van een SCC beïnvloeden	23
2.4.1 Interne belangenconflicten tussen de betrokken partijen	24
2.4.2 Legale problemen met externe leveranciers	24
2.4.3 Kwantificeren van kosten voor sociale en milieugebonden factoren	24
2.5 Conclusie SCC	25

3 Voorraad- Rittenplanningsprobleem	27
3.1 Het begrip VRP	27
3.1.1 Voorraadbeheer	27
3.1.2 Rittenplanningsbeslissingen	27
3.1.3 Voorraad- Rittenplanningsbeslissingen Probleem	28
3.2 Classificatie VRP	30
3.3 Basisversies van VRP modellen	31
3.3.1 Statische deterministische VRP	31
3.3.2 Statische stochastische VRP	31
3.3.3 Dynamische stochastische VRP	32
3.3.4 Verschillende extensies	32
3.4 VRP oplossen	35
3.5 Verdere vooruitgang	37
3.5.1 Locatie van depots	37
3.5.2 Duurzaamheidsfactoren	38
4 Praktijkonderzoek	41
4.1 Introductie simulatiemodel	41
4.2 Opzet experimenten scenario's 1 & 2	42
4.2.1 Algemene parameters	42
4.2.2 Parameters onderzoeksdoel afstand	44
4.2.3 Parameters onderzoeksdoel variabiliteit van de vraag	47
4.3 Resultatenbespreking	48
4.3.1 Resultaten onderzoeksdoel afstand	48
4.3.2 Resultaten onderzoeksdoel variabiliteit van de vraag	52
4.4 Conclusie praktijkdeel	56
5 Conclusie	57
6 Beperkingen & aanbevelingen	61
6.1 Beperkingen	61
6.2 Aanbevelingen	61
7 BIBLIOGRAFIE	63
BIJLAGEN	67
Bijlage 1: Verduidelijking criteria Tabel 4	67
Bijlage 2: Uitleg <i>readme</i> bestand voor de inputparameters van een <i>instance</i>	69
Bijlage 3: Voorbeeld van een scenario 2 <i>instance</i>	71
Bijlage 4: Resultaten Scenario één, situatie <i>close</i>	79
Bijlage 5: Resultaten Scenario één, situatie <i>far</i>	80

Bijlage 6: Resultaten Scenario twee, situatie <i>close</i>	81
Bijlage 7: Resultaten Scenario twee, situatie <i>far</i>	82
Bijlage 8: Resultaten Scenario één, situatie <i>constant demand</i>	83
Bijlage 9: Resultaten Scenario één, situatie <i>varying demand</i>	85
Bijlage 10: Resultaten Scenario twee, situatie <i>constant demand</i>	86
Bijlage 11: Resultaten Scenario twee, situatie <i>varying demand</i>	88



## LIJST VAN FIGUREN

Figuur 1 – Overzicht soorten problemen omtrent stedelijke logistiek	3
Figuur 2 – Schema van de onderlinge relaties tussen de vijf betrokken partijen (Isa, Lima Jr, & Vieira, 2021)	10
Figuur 3 – Elektrische cargo fiets (Browne, Allen, & Leonardi, 2011)	15
Figuur 4 – Elektrische wagen (Browne et al., 2011)	15
Figuur 5 – Kritische factoren van een rendabel business model	17
Figuur 6 – Primaire activiteiten van het SCC	19
Figuur 7 – Lijst mogelijke criteria die van invloed zijn bij het locatieselectieproces (de Carvalho et al., 2020)	20
Figuur 8 – Keuzes die gemaakt moeten worden door de leverancier	28
Figuur 9 – Mogelijke oplossing van een VRP op kleine schaal (0 is het SCC, 1-4 zijn handelaars) (Bertazzi & Speranza, 2013)	29
Figuur 10 – Stappenplan voor het oplossen van een VRP	36
Figuur 11 – De drie factoren voor duurzame ontwikkeling	38
Figuur 12 – Situatieschets scenario 1 <i>close</i>	44
Figuur 13 – Situatieschets scenario 2 <i>close</i>	44
Figuur 14 – Situatieschets scenario 1 <i>far</i>	45
Figuur 15 – Situatieschets scenario 2 <i>far</i>	45
Figuur 16 – Kostenanalyse scenario 1: situaties <i>close</i> & <i>far</i>	49
Figuur 17 – Kostenanalyse scenario 2: situaties <i>close</i> & <i>far</i>	50
Figuur 18 – Kostenanalyse scenario's 1 & 2: situaties <i>close</i> & <i>far</i>	52
Figuur 19 – Kostenanalyse scenario 1: situaties <i>constant demand</i> & <i>varying demand</i>	53
Figuur 20 – Kostenanalyse scenario 2: situaties <i>constant demand</i> & <i>varying demand</i>	54
Figuur 21 – Kostenanalyse scenario's 1 & 2: situaties <i>constant demand</i> & <i>varying demand</i>	55





## LIJST VAN TABELLEN

Tabel 1 – Resultaten van het SCC in Kassel (City Ports project, 2005) (Van Duin et al., 2010)	5
Tabel 2 – Voorraadbeheer en rittenplanning dag 1	29
Tabel 3 – Voorraadbeheer en rittenplanning dag 2	29
Tabel 4 – Lijst van criteria en mogelijke opties gebaseerd op (Andersson et al., 2010) en (Coelho et al., 2014)	30
Tabel 5 – Classificatietabel van modellen, * = model met meerdere producten	34
Tabel 6 – Waarden voor de algemene parameters van alle <i>instances</i>	43
Tabel 7 – Locaties van de leveranciers voor de <i>close</i> situaties	46
Tabel 8 – Locaties van de leveranciers voor de <i>far</i> situaties	46
Tabel 9 – Gemiddelde afstand van de leveranciers tot hun meest nabije klant voor de twee scenario's	46
Tabel 10 – Locaties van de leveranciers voor de <i>constant &amp; varying demand</i> situaties	48



# 1 INLEIDING

## 1.1 Praktijkrelevantie

### 1.1.1 Groeiende belang van steden

Wonen in de binnenstad is tegenwoordig een heel aantrekkelijke optie om verschillende redenen: voldoende job opportuniteiten, ruime aanwezigheid van kledingwinkels en supermarkten, bruisend uitgaansleven, ... . Alle menselijke behoeftes kunnen met andere woorden vervuld worden zonder de binnenstad te hoeven verlaten (Browne, Behrends, Woxenius, Giuliano, & Holguín-Veras, 2018).

Recent cijfermateriaal toont aan dat er sinds 1950 een sociale vlucht naar de binnensteden op te merken valt. Het percentage van de wereldbevolking dat in stedelijke gebieden woont is gedurende de voorbije 60 jaar enorm gestegen. Tijdens de jaren vijftig ging het over minder dan één derde van de bevolking (ongeveer 30 procent), terwijl nu al meer dan de helft van de wereldbevolking in stedelijke gebieden woont (ongeveer 55 procent). Sterker nog, de voorspelde trend wordt verwacht zich door te zetten waardoor tegen 2050 twee derde van de bevolking (ongeveer 68 procent) in stedelijke gebieden zou wonen (Browne et al., 2018; Buhaug & Urdal, 2013; Isa et al., 2021).

Steden fungeren als het centrum voor het economische en sociale leven van de inwoners. Dankzij deze centrumfunctie kunnen steden een significante economische bijdrage leveren aan de nationale economie. De bijdrage van steden aan het wereld Bruto Binnenlands Product (BBP) is immers goed voor 80 procent van het totale BBP ter wereld. Vermits door de verwachte bevolkingsgroei steden alsmear groter en belangrijker worden, zullen ze onmisbaar zijn voor de nationale economie. Steden staan immers symbool voor economische groei en innovatie (Cattaruzza, Absi, Feillet, & González-Feliu, 2017) (Lebeau, Macharis, Van Mierlo, & Maes, 2013; Thompson & Taniguchi, 2017).

Om deze onmisbare rol te blijven vervullen, moeten steden het hoofd kunnen bieden aan allerlei uitdagingen rondom stedelijke logistiek. Immers hoe meer mensen in de steden wonen, hoe drukker het er wordt en hoe minder plaats er beschikbaar is. Dit valt enerzijds op te merken door de toename in passagiersvoertuigen in de binnenstad. Anderzijds zal er een grote competitie heersen voor het gebruik van de stadsinfrastructuur tussen de stedelijke leveranciers, omwille van een stijgende vraag naar frequentere bevoorrading van winkels. Slimmer gebruik maken van desbetreffende ruimte en tijd is daarom een maatschappelijk, economisch vraagstuk (Cattaruzza et al., 2017).

### 1.1.2 Bevoorrading in de steden

Voor het concept stedelijke logistiek wordt er niet enkel rekening gehouden met de bevoorrading van winkels, maar ook met civiele werken en onderhoud van infrastructuur in de stad (Ambrosini & Routhier, 2004; Anderson, Allen, & Browne, 2005). De betrokken partijen bij de bevoorrading van handelaars in de binnenstad zijn de handelaars, leveranciers, bewoners en de overheid. Zonder consensus over de manier van aanpak om dit business-to-business (B2B) goederentransport uit te voeren, zal de bevoorrading gecompliceerd blijven (Thompson & Taniguchi, 2017).

Leveranciers zijn verantwoordelijk om ervoor te zorgen dat de handelaars niet zonder voorraad komen te staan. Omwille van de stijgende vraag naar goederen door klanten, is er nood aan frequentere bevoorrading van handelaars in de steden (Björklund & Johansson, 2018). Frequentere bevoorrading van handelaars is tegenwoordig tevens noodzakelijk omdat de levenscyclus van veel producten korter en korter wordt. Handelaars kiezen er daarom voor om minder voorraad in de fysieke winkel te houden, zodat er geen risico bestaat dat deze producten blijven liggen als onverkochte voorraad. Hiervoor vertrouwen de handelaars echter wel op een tijdige, frequente bevoorrading van hun leverancier (Zhang, Xu, Shi, & Zhu, 2020). Deze bevoorrading wordt tegenwoordig steeds complexer. Om met dit voorraadbeheerprobleem om te gaan moet de leverancier op een frequente basis voertuigen met voorraad sturen om de voorraadniveaus van de handelaars immers op peil te houden. Deze beslissingen omtrent de frequentie en hoeveelheden van de bevoorrading zijn gekoppeld aan de rittenplanningen van de leverancier zijn voertuigenvloot. Een grote uitdaging voor de stedelijke logistiek is dan ook een oplossing vinden voor het voorraad-rittenplanningsprobleem (VRP). Het VRP wordt gedefinieerd als volgt (Coelho, Cordeau, & Laporte, 2014):

***The IRP can be described as the combination of vehicle routing and inventory management problems, in which a supplier has to deliver products to a number of geographically dispersed customers, subject to side constraints. It provides integrated logistics solutions by simultaneously optimizing inventory management, vehicle routing and delivery scheduling.***

Ruime aandacht voor voorraadbeheer en rittenplanningen is cruciaal opdat de stedelijke logistiek met behulp van B2B-goederentransport efficiënt verloopt. Het B2B-goederentransport is namelijk op zichzelf al een grote uitdaging. Er zijn veel kosten aan verbonden, samen met veel partijen die rivaliseren over wie deze kosten op zich neemt. Een groot financieel probleem zijn bijvoorbeeld de hoge *last-mile* leveringskosten. De *last-mile* levering is het finale onderdeel van een *supply chain*<sup>3</sup> om de handelaars te voorzien van de juiste bestelling (Archetti & Bertazzi, 2021). *Last-mile* leveringskosten, om tot bij de handelaar in het stadscentrum te geraken, zijn immers goed voor 28 procent van de totale *supply chain* kosten (Lopez, 2017; Wang, Zhang, Liu, Shen, & Lee, 2016).

### 1.1.3 Stedelijke logistiek en haar problemen

De problemen omtrent stedelijke logistiek kunnen naast financieel van aard, ook sociaal of milieugebonden zijn (zie Figuur 1). Zo kunnen er opstoppingen, files, ongevallen, luchtvervuiling en geluidsoverlast voor de bewoners ontstaan (Björklund & Johansson, 2018; de Carvalho, Vieira, da Fonseca, & Dulebenets, 2020; Deng, Fang, & Lim, 2021; Thompson & Taniguchi, 2017). Ten slotte kan er schade veroorzaakt worden aan het historische beeld van de stad (de Carvalho et al., 2020; Van Duin, Quak, & Muñuzuri, 2010). Een efficiënte, duurzame oplossing voor het voorraadbeheer en de rittenplanningen die gepaard gaan met het goederentransport naar de stad dringt zich op.

---

<sup>3</sup> Definitie van een *supply chain*: Het netwerk van organisaties die betrokken zijn door *upstream* en *downstream* verbanden bij de verschillende processen en activiteiten die waarde creëren in de vorm van producten en diensten voor de klant (Christopher, 2010).

Bij de zoektocht naar een oplossing voor een stedelijk distributiesysteem zullen dus niet enkel de kosten omtrent de *last-mile* levering naar de stad belangrijk zijn. Optimalisatie van het B2B-goederentransport zal dan ook voldoende aandacht aan de vermindering van opstoppingen, de verhoging van mobiliteit aan minimale kosten en positieve bijdragen aan het milieu moeten bieden (Cattaruzza et al., 2017).



*Figuur 1: Overzicht soorten problemen omtrent stedelijke logistiek*

Duurzame oplossingen voor stedelijke distributiesystemen zijn afhankelijk van meerdere factoren. Deze factoren kunnen gerelateerd zijn aan de *supply chain* zelf (structuur van het netwerk of technologie) of beïnvloed worden door de bestaande markt (regulaties, conditie van de wegen). Indien de logistieke partners over onvoldoende kennis van alle belangrijke factoren beschikken, kan de integratie van een nieuwe oplossing, zoals bijvoorbeeld een afhaal/leveringspunt opzetten op voorhand al gedoemd zijn om te mislukken (Vural & Aktepe, 2021). Daarom is het hoogst aangeraden dat er binnen de *supply chain* een sterk niveau van verticale en horizontale samenwerking heerst tussen alle interne en externe betrokken partijen. Door samenwerking en het delen van informatie kan iedereen gedijen waardoor de integratie van nieuwe oplossingen beter kan gebeuren (Vural & Aktepe, 2021).

#### 1.1.4 Oplossing voor de stedelijke logistiek

Steden die toekomstgericht denken zullen slimme, duurzame oplossingen moeten vinden voor al hun problemen omtrent stedelijke logistiek. Een voorbeeld van een dergelijke slimme oplossing is de aanleg van een Stedelijk Consolidatie Centrum (SCC). Zo kan een SCC de *last-mile* kosten stevig drukken, alsook dienen als een duurzaam hulpmiddel bij het oplossen van het VRP dankzij de consolidatie-rol. De functie van een SCC is om verschillende zendingen van meerdere logistieke transportbedrijven te consolideren, om vervolgens met andere (eigen) voertuigen de goederen in de stad te leveren aan de juiste klanten (Deng et al., 2021). Op deze manier zullen er minder voertuigen nodig zijn bij de bevoorrading van de steden, waardoor de financiële, sociale en milieu gerelateerde kosten zullen afnemen (zie Figuur 1). Zo kan een SCC tevens zelf gebruikt worden om groene stroom op te wekken ter voorziening van al haar operaties en voertuigen (Dooren, 2021). Het SCC moet beschikken over een ruime plek waar de goederen gesorteerd kunnen worden en over voldoende (eigen) voertuigen. Indien aan deze voorwaarde voldaan is, kan een SCC dienen als mogelijke oplossing voor het voorraadbeheerprobleem.

De voertuigroutes die uitgevoerd worden ter bevoorrading van de handelaars zijn onderworpen aan verscheidene beslissingen. Deze beslissingen kunnen gaan over het aantal voertuigen dat nodig is, de grootte van de voertuigen, het leveringstijdsvenster, het aantal trips per voertuig, ... kortom er zijn veel beslissingsknopen die doorgehakt moeten worden. Deze beslissingen worden vaak bemoeilijkt door gebieden in steden met beperkte toegang, tijdsvensters of gebrek aan ladingszones (de Carvalho et al., 2020; Deng et al., 2021). Een oplossing om deze struikelblokken te omzeilen en de te nemen beslissingen te vereenvoudigen is de constructie van stedelijke consolidatiecentra (SCC). Het aanleggen van SCC kan als voordeel een tijdelijke opslag bieden voor allerlei goederen, waarbij de afstand tot de eindbestemming kleiner is. Vervolgens kunnen de goederen hierna door andere, eventueel kleinere, voertuigen op hun eindbestemming afgeleverd worden. Een voordeel van de leveringen vanuit het SCC te doen met kleinere voertuigen, is dat deze milieuvriendelijker zijn. Dit voordeel komt bijvoorbeeld zeer goed naar voren bij het logistieke bedrijf DHL. Door gebruik te maken van kleinere milieuvriendelijke voertuigen kan DHL het stadscentrum van Antwerpen volledig emissieloos beleveren (Dooren, 2021).

Het is om deze redenen aangeraden om bij de aanleg van SCC ook een opslagplaats van voorraden te voorzien. Hierdoor zouden er zowel minder voertuigen als minder trips nodig zijn (Thompson & Taniguchi, 2017). Daar komt bij dat een SCC niet enkel dient voor hulp bij rittenplanning of voorraadbeheer, maar evenzeer een rol kan vervullen bij *pre-retail* activiteiten zoals het aanbrengen van labels of het behandelen van terugnames (Björklund & Johansson, 2018). Zo biedt een SCC een oplossing voor de logistieke problematiek in steden.

#### 1.1.5 Criteria voor een succesvol SCC

Het aantal logistieke partners dat wilt samenwerken met een SCC en de allocatie van kosten en baten over alle partijen zijn de uitdagingen die zich voordoen bij de implementatie van een SCC (de Carvalho et al., 2020; Van Duin et al., 2010). Een SCC is immers alleen winstgevend wanneer er voldoende logistieke bedrijven zijn die gebruik willen maken van het SCC. Opdat een leverancier de keuze maakt om deel te nemen aan een samenwerking met een SCC, moet de leverancier kampen met hoge variabele kosten, zoals bijvoorbeeld de variabele leveringskost per eenheid volume goederen. Leveranciers die kampen met hoge variabele kosten om hun goederen te leveren in de binnensteden, zullen het alternatief van een collectief SCC, waarbij de variabele kosten lager liggen door de samenwerking van logistieke partners en een SCC, zeer aantrekkelijk vinden (Deng et al., 2021).

Naast de basisvoorwaarde dat er genoeg participanten moeten zijn, blijkt de organisatie van het SCC ook van cruciaal belang. Een privaat opgericht SCC kan mogelijk succesvol zijn, maar om te slagen zijn er meestal bijkomende subsidies van de overheid nodig (Van Duin et al., 2010). Subsidies ter ondersteuning van nieuwe SCC projecten zijn bovendien zeer nuttig voor de coördinatie en sturing van het project, alsook voor de realisatie van het project op langere termijn (Dooren, 2020). Vooraleer een SCC succesvol kan zijn moet er dus aan de twee nodige basisvoorwaarden worden voldaan (Deng et al., 2021).

Een voorbeeld van een geslaagd SCC experiment is het consolidatiecentrum in Kassel (Duitsland), opgericht in 1994. Een tiental private logistieke bedrijven beslisten om gezamenlijk gebruik te maken van een SCC dat in de beginjaren door de gemeente gesubsidieerd was. De redenen voor samenwerking door de logistieke bedrijven waren kostenbesparing en om milieubewust over te komen. In de volgende tabel (Tabel 1) staan resultaten over het verschil tussen de al dan niet aanwezigheid van een SCC in Kassel voor het jaar 2005. De benutting van de voertuigcapaciteit verdubbelde waardoor het aantal voertuigen en het aantal kilometers per voertuig respectievelijk met 13 en 60 procent afnamen (Van Duin et al., 2010).

	Zonder SCC	Met SCC	Vershil
Voertuig kilometers in de stad	6500	2600	-60%
Benutting van de voertuigcapaciteit (volume)	40%	80%	100%
Aantal trucks per retailer per jaar	300	260	-13%

*Tabel 1: Resultaten van het SCC in Kassel (City Ports project, 2005) (Van Duin et al., 2010)*

Ondanks alle potentiële voordelen van een SCC, zijn er echter nog niet veel succesvolle projecten in steden geweest (Björklund & Johansson, 2018). In de voorbije twintig jaar zijn er 150 SCC projecten in Europa gestart, waarvan er volgens Dablanc et al. (2011) vijf van overbleven. Redenen voor deze lage succesfactor zijn: moeite om break-even te draaien omwille van de hoge kosten, gebrek aan participatie van logistieke partners en nood aan hoge subsidies van de overheid (Deng et al., 2021).

#### 1.1.6 Optimalisatie naar de toekomst toe

Ondanks alle technologische innovaties en eerder onderzoek naar het optimaliseren van voertuigroutes, ontbreken er toch recente, relevante modellen om het logistieke probleem voor steden op te lossen. Onderzoekers zijn ervan overtuigd dat integratie over meerdere niveaus van de *supply chain* samen met de uitvoering van meerdere trips per voertuig cruciaal zijn voor de toekomst (Cattaruzza et al., 2017). Er moet met andere woorden een correct VRP model worden opgesteld dat een oplossing kan bieden voor de problemen omtrent voorraadbeheer en rittenplanningen.

De samenwerking tussen de partijen omtrent hun doelen, alsook een optimaal gebruik van logistieke data ontbreken echter. Dit kunnen nochtans, mits beide wel aanwezig zijn, goede hulpbronnen zijn voor het vinden van een oplossing voor een VRP model waarin een SCC in vervat zit. Bovendien is er nog onduidelijkheid over welke partij nu daadwerkelijk de verantwoordelijkheid draagt voor de veiligheid en garantie van de goederen wanneer een SCC wordt gebruikt (Thompson & Taniguchi, 2017). Voorts zijn steden dynamisch van aard en continu op zoek naar verbetering. Daarom zou er meer onderzoek moeten gebeuren naar stedelijke veranderingen die impact hebben op de logistieke beslissingen van de leveranciers (Cattaruzza et al., 2017). Ten slotte is er nood aan een studie over de factoren die de beslissing van logistieke bedrijven aanspoort om daadwerkelijk samen te werken met een SCC (Van Duin et al., 2010).



## 1.2 Onderzoeksvraag

Na een grondige analyse te hebben uitgevoerd omtrent de stedelijke logistiek, is het duidelijk dat er nood is aan een efficiënte, duurzame oplossing die met alle betrokken partijen integraal rekening houdt. Een voorbeeld van zo een mogelijke oplossing is de aanleg van een Stedelijk Consolidatie Centrum (SCC) nabij de stad gelegen. Een SCC kan op zijn beurt de grote nood voor een oplossing die voorraad- en rittenplanningsbeslissingen integreert opvullen. Hoewel verschillende SCC projecten in het verleden hebben gefaald, kan dit wel de oplossing zijn voor het stedelijke distributieprobleem naar de toekomst toe. Vooraleer dit punt bereikt kan worden, zal er echter nog meer aandacht moeten worden besteed aan diverse relevante criteria bij de aanleg van een SCC. Daarom zal deze masterproef zich toewijden aan de verantwoording van alle relevante onderdelen die bij een SCC horen. De centrale onderzoeksvraag luidt als volgt:

**Centrale onderzoeksvraag:** "Hoe kan een Stedelijk Consolidatie Centrum door de voorraad- en rittenplanningsbeslissingen te integreren optimaal te werk gaan?"

Om het antwoord op de centrale onderzoeksvraag te kunnen formuleren, zijn er enkele bijkomende deelvragen nodig waarvan de antwoorden ter ondersteuning dienen.

**Deelvraag 1:** "Wat is de bestaande literatuur over de integratie van voorraadbeheer en rittenplanningen?"

**Deelvraag 2:** "Wat zijn de voordelen om de voorraad- en rittenplanningsbeslissingen te integreren in een SCC?"

**Deelvraag 3:** "Wat zijn de nodige vereisten voor de opbouw van een SCC?"

**Deelvraag 4:** "Welke problemen beïnvloeden het succes van een SCC?"

**Deelvraag 5:** "Wat zijn de respectievelijke voordelen voor alle betrokken partijen bij de aanleg van een SCC?"

Ter afbakening van de centrale onderzoeksvraag wordt de focus van deze masterproef louter gelegd op handelaars die actief zijn binnen de stedelijke B2B sector. Het gaat dan zowel over de logistieke dienstverleners die de goederen leveren aan het SCC, de operatoren van het SCC als de handelaars die bevoorrad worden door het SCC.

De centrale onderzoeksvraag is verder onderverdeeld in vijf deelvragen. De eerste deelvraag onderzoekt welke informatie er reeds beschikbaar is in de huidige literatuur over de onderwerpen voorraadbeheer en rittenplanning. Ten tweede worden alle voordelen onderzocht die voortkomen uit de integratie van voorraad- en rittenplanningsbeslissingen in een SCC. Ten derde wordt er gezocht naar de nodige vereisten en relevante criteria die nodig zijn voor de opbouw van een SCC. Ten vierde wordt er aandacht besteed aan problemen die het succes van een SCC kunnen beïnvloeden. Ten slotte worden de voordelen voor alle betrokken partijen in het logistieke dienstproces nagegaan.

### 1.3 Methodologie

In dit deel van het onderzoeksplan wordt de onderzoeksaanpak besproken. Allereerst wordt er een grondige literatuurstudie uitgevoerd om bekend te worden met het onderwerp en om antwoord te kunnen bieden op de deelvragen. Na vergaring van voldoende kennis, door middel van het lezen van relevante literatuur, komt het praktijkgedeelte aan bod. In het praktijkgedeelte worden wiskundige simulatiemodellen onder de loep genomen.

#### 1.3.1 Literatuurstudie

Relevante literatuur over stedelijke logistiek is in ruim aanbod aanwezig. Om dit ruime aanbod in te perken, wordt er gekozen om enkel de B2B context te analyseren. Startende met de centrale onderzoeksvraag zal de literatuurstudie beginnen met artikels te bespreken over Stedelijke Consolidatie Centra (SCC). Vervolgens wordt er informatie opgezocht over het Voorraad-Rittenplanningsbeslissingen Probleem (VRP). Deze begrippen worden respectievelijk uitgelegd in hoofdstuk twee en hoofdstuk drie van deze masterproef. Er zal een overzicht worden gegeven over de voordelen van het voorraadbeheer en de rittenplanningen te integreren in een SCC. Het is belangrijk om deze twee topics voldoende in kaart te brengen om de relevantie van een SCC aan te tonen. Vervolgens zal er in de literatuurstudie aandacht worden besteed aan naslagwerken om antwoorden te formuleren op de vijf deelvragen en uiteindelijk een antwoord te bieden op de centrale onderzoeksvraag.

##### *1.3.1.1 Zoektermen & Databases*

Voor het vinden van bruikbare bronnen moet er concreet en doelgericht gezocht worden. De meerderheid van gebruikte literatuur in deze masterproef is Engelstalig, de resterende literatuur is Nederlandstalig. Daarom is het belangrijk om voornamelijk met Engelse termen te werken tijdens de zoektocht naar ondersteunend materiaal. Enkele gebruikte zoektermen zijn: urban distribution/logistics, Urban Consolidation Centre (UCC), city logistics, Inventory Routing Problem (IRP), ... .

Op basis van deze zoekopdrachten wordt er dan een lijst aangemaakt waar alle bruikbare academische papers, artikels en boeken worden opgeslagen, zodat er tijdens de hele tekst naar verwezen kan worden. Verwijzingen gebeuren met behulp van het programma Endnote, waarbij de stijl 'APA 6th' wordt gehanteerd.

De online UHasselt bibliotheek wordt voor alle zoekopdrachten geraadpleegd. In het bijzonder zal de database 'Google Scholar' gebruikt worden.

### 1.3.1.2 Relevantiecriteria

Ter bepaling of een gevonden bron gebruikt kan worden, moet deze voldoen aan alle relevantiecriteria. De vereiste relevantiecriteria voor deze masterproef zijn als volgt opgesteld:

- De bron komt uit een betrouwbare database en wordt beschouwd als wetenschappelijke literatuur.
- De literaire bron is ofwel Engelstalig of Nederlandstalig.
- De literaire bron dateert ten vroegste van het jaar 1995. Dit dient om het onderzoek in deze masterproef hedendaags te houden.

Literaire bronnen die niet aan alle voorgaande criteria voldoen, zullen niet in acht genomen worden om als ondersteunend materiaal te dienen in deze masterproef.

Zodra een bron voldoet aan alle relevantiecriteria, zal het abstract van de bron in kwestie bepalen of deze al dan niet bruikbaar is. Indien na het lezen van het abstract blijkt dat de bron interessant is voor verder onderzoek, zal de bron in zijn geheel doorgenomen worden. Relevante onderdelen worden daarna gebruikt of naar verwezen bij de formulering van de antwoorden op de deelvragen en centrale onderzoeksvraag.

### 1.3.2 Praktijkonderzoek

Na de literatuurstudie volgt de uitwerking van het praktijkgedeelte. Het praktijkgedeelte zal zich toespitsen op het uitvoeren van verschillende experimenten op basis van een algoritmisch opgebouwd simulatiemodel. Dit model werd opgebouwd in *Visual studio* door een doctoraatsstudent aan de UHasselt en vervolgens beschikbaar gesteld om experimenten op uit te voeren ten voordele van deze masterproef (Iswari, Caris, & Braekers, 2022). Het model kan verschillende scenario's simuleren omtrent het stedelijke bevoorradingproces, waarbij de ingegeven waarden voor de parameters naar wens aangepast kunnen worden. Het simulatiemodel biedt op die manier de mogelijkheid om diverse experimenten te vergelijken over twee scenario's, namelijk het eerste scenario zonder SCC en het tweede scenario met SCC (hierbij is er nog geen volledige integratie van het voorraadbeheer en de rittenplanningen in het SCC). Dit biedt de mogelijkheid om de resultaten van meerdere testen met elkaar te vergelijken zodat de eventuele voordelen van het implementeren van een SCC in een *supply chain* aangetoond kunnen worden.

Naast de eventuele voordelen van de implementatie van een SCC, kan er tevens gezocht worden naar de ideale combinatie van parameters zodat het SCC het meest efficiënt ingezet kan worden. Ten slotte is er ook nog een derde scenario waarbij het voorraadbeheer en de rittenplanning wel volledig geïntegreerd zijn binnenin het SCC. Dit scenario dient als een uitbreiding op het tweede scenario en kan momenteel echter wel alleen uitgevoerd worden op kleinere schaal. Dit is omdat het simulatiemodel nog in ontwikkeling is om op het punt van volledige integratie op grote schaal te komen.

## 2 Stedelijk Consolidatie Centrum

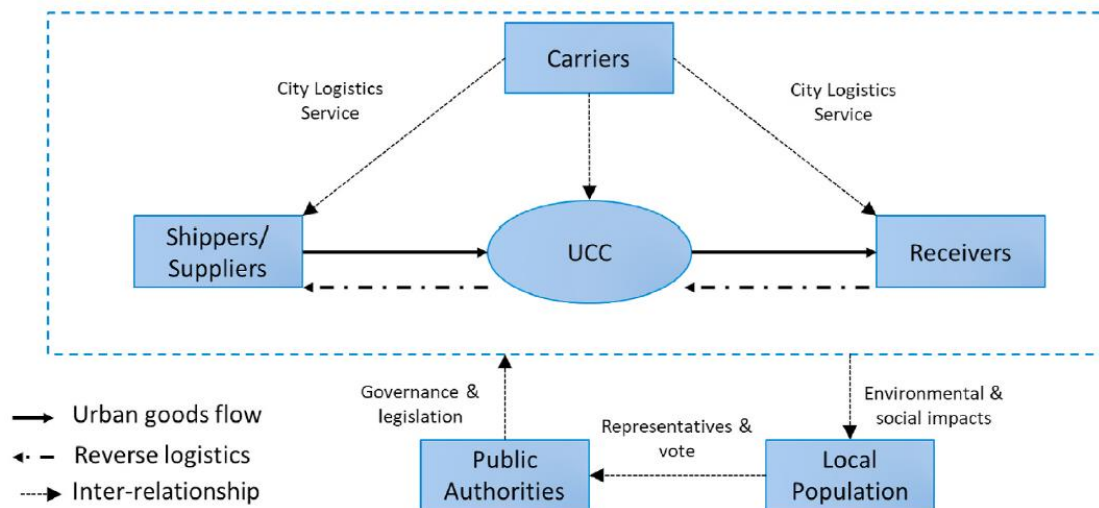
Naar aanleiding van de problemen omtrent stedelijke logistiek zal dit onderdeel van deze masterproef uitleg geven over een mogelijke oplossing voor de eerder vernoemde problemen in het onderzoeksplan. Dit onderdeel van deze masterproef gaat over de implementatie van een Stedelijk Consolidatie Centrum (SCC) nabij een stad. Het SCC zal op haar beurt dienen als een duurzame, efficiënte en kostenbesparende oplossing voor de stedelijke bevoorrading. De volgende paragrafen starten met een verklarende uitleg van het SCC begrip. Ten tweede wordt de huidige problematiek omtrent de stedelijke bevoorrading aangehaald om dan het SCC voor te stellen als een slimme, duurzame oplossing voor de integratie van voorraadbeheer en rittenplanningen. Vervolgens wordt de focus gelegd op de nodige onderlinge samenwerking tussen alle betrokken partijen. Hierna worden de voordelen van de implementatie van een SCC benoemd, alsook de impactanalyse van deze voordelen per betrokken partij. Ten derde wordt het onderdeel van de opbouw van een SCC besproken. In dat onderdeel komen de volgende paragrafen omtrent het business model, het locatieselectieproces en de structurele voorwaarden rond het SCC aan bod. Ten vierde worden mogelijke barrières tegen de implementatie van een SCC besproken. Ten slotte volgt er een tussentijdse conclusie over het SCC.

### 2.1 Het begrip SCC

Deze paragraaf start met een introductie van het begrip Stedelijk Consolidatie Centrum (SCC). De betekenis van het woord SCC kan ontleed worden uit het begrip zelf. Een SCC dient namelijk als een centrum, gevestigd nabij een stadsgebied, om inkomende leveringen van buiten het stadsgebied te consolideren alvorens de finale levering naar de handelaars in de binnenstad, eventueel met kleinere voertuigen, uit te voeren. Het is dus de functie van het SCC om talrijke inkomende zendingen van meerdere leveranciers te consolideren, om vervolgens met andere (eigen) voertuigen de goederen in de stad te leveren aan de juiste handelaars. Hiervoor moet het SCC beschikken over een ruime plek waar de goederen gesorteerd kunnen worden en over voldoende (eigen) voertuigen (Deng et al., 2021). Bij het consolideren van verschillende leveringen wordt gestreefd om de efficiëntie van de finale bevoorrading te verhogen. Dit gebeurt door de capaciteit van de voertuigen maximaal te benutten zodat deze kunnen vertrekken vanuit het SCC met een hoge laadfactor. De verhoging van de laadfactor heeft als gevolg dat er minder voertuigen nodig zullen zijn bij de finale levering (Allen, Browne, Woodburn, & Leonardi, 2012; Browne, Sweet, Woodburn, & Allen, 2005).

Een SCC vervult hierdoor een handige rol bij de bevoorrading van handelaars in de binnenstad door het logistieke bevoorradingsproces eenvoudiger en duurzamer te maken. Daarbovenop zal het gebruik van een SCC garant staan voor het reduceren van negatieve effecten voor de economie, milieu en maatschappij (Allen et al., 2012; Browne et al., 2005; Isa et al., 2021; Nordtømme, Bjerkan, & Sund, 2015).

Tot voorheen in deze masterproef was er sprake van vier betrokken partijen bij de bevoorrading van handelaars in de binnenstad. Deze partijen zijn de handelaars, de leveranciers, de bewoners en de overheid. Door de toevoeging van een SCC aan het logistieke bevoorradingproces zal er naast de vier huidige betrokken partijen een vijfde partij bijkomen. Deze bijkomende vijfde partij zijn de Logistieke Dienstverleners (LDV) die instaan voor de werking van het SCC en de uitvoering van de *last-mile* levering naar de handelaars (zie Figuur 2) (Allen et al., 2012; Björklund, Abrahamsson, & Johansson, 2017; Björklund & Johansson, 2018; Isa et al., 2021).



Inter-relationship among UCC stakeholders.

*Figuur 2: Schema van de onderlinge relaties tussen de vijf betrokken partijen met receivers=handelaars, shippers/suppliers=leveranciers, local population=bewoners, public authorities=overheid en carriers=LDV (Isa et al., 2021)*

## 2.2 SCC als slimme oplossing voor de stedelijke problematiek

De volgende paragrafen bieden een uitleg waarom het SCC als slimme oplossing gebruikt kan worden voor de stedelijke problematiek. Allereerst komt de rol van een SCC aan bod waarbij het *last-mile* onderdeel toegelicht wordt. Daarna volgt de verantwoording voor het implementeren van een SCC in een *supply chain*, om de begrippen voorraadbeheer en rittenplanningen te integreren binnen het SCC. Om dit te kunnen realiseren zullen de volgende paragrafen de nood aan een goede onderlinge samenwerking tussen de betrokken partijen toelichten. Ten slotte zullen de twee laatste delen van dit onderdeel de voordelen van een SCC aanhalen en de impactanalyse van deze voordelen bespreken per betrokken partij.

### 2.2.1 De last-mile van het stedelijke bevoorradingproces

Zoals eerder vermeld in het onderzoeksplan zijn er verscheidene problemen die het stedelijke B2B-bevoorradingproces tergen (zie Figuur 1). De *last-mile*<sup>4</sup> leveringskosten in het bijzonder zijn één van de belangrijkste financiële problemen, goed voor 28 procent van de totale *supply chain* kosten (Deng et al., 2021). Door de constante stijging van de *e-commerce* cijfers, waarbij goederen geleverd moeten worden die online besteld zijn, wordt het belang van de *last-mile* levering binnen een *supply chain* almaar groter. Stijgende aantallen van mensen die naar de binnensteden trekken in combinatie met de groeiende *e-commerce* cijfers zorgen ervoor dat de problemen omtrent het stedelijke bevoorradingproces steeds erger worden (Björklund et al., 2017; Björklund & Johansson, 2018).

Tegenwoordig worden steeds meer online bestellingen door klanten gemaakt bij de handelaars die almaar sneller geleverd moeten worden. Klanten verwachten namelijk hun bestellingen de dag later, soms de dag zelf, nog te kunnen ontvangen. Hierdoor moeten de handelaars steeds frequenter bevoorrad worden om aan de stijging van klantbestellingen te blijven voldoen. Bestellingen die steeds vaker gepaard gaan met kortere verwachte leveringstermijnen, zorgen ervoor dat leveranciers kampen met een hoge druk om aan de vraag van hun klanten te kunnen voldoen. De steeds hogere verwachtingen van de klanten zorgen dus onrechtstreeks voor kortere leveringstijden voor de leveranciers (Archetti & Bertazzi, 2021). Steden hebben dus dringend nood aan efficiënte SCC om de stedelijke bevoorrading, met name de *last-mile* levering, te regelen (Archetti & Bertazzi, 2021; Deng et al., 2021; Lebeau et al., 2013).

Desondanks dat deze problemen een negatief effect hebben op de binnensteden, is het stedelijke bevoorradingproces noodzakelijk om de economie draaiende te houden (Björklund et al., 2017). Het toevoegen van een SCC aan de *supply chain* kan als mogelijke oplossing dienen om die stedelijke problematiek rond het B2B-bevoorradingproces, met name de *last-mile* levering, aan te pakken. De mogelijkheid om gebruik te maken van een SCC bij het oplossen van het stedelijke bevoorradingprobleem, zal op zijn beurt de zoektocht naar een VRP-modeloplossing vergemakkelijken. Een SCC kan namelijk de rol van een centraal gelegen depot aannemen bij een VRP-modeloplossing. Indien leveranciers dan vanuit een nabij gelegen SCC kunnen vertrekken om de handelaars te bevoorraden, zal de toegenomen tijdsdruk omtrent de kortere leveringstijden afnemen (Isa et al., 2021; Nordtømme et al., 2015; Quak & Tavasszy, 2011).

---

<sup>4</sup> Definitie van *last-mile*: De *last-mile* levering is het finale onderdeel van een *supply chain* om de handelaars te voorzien van de juiste bestelling (Archetti & Bertazzi, 2021).

### 2.2.2 Integratie van voorraadbeheer en rittenplanningen in een SCC

In het verleden werden voorraadbeheer en rittenplanningen voor de betrokken partijen van een *supply chain* traditioneel apart beheerd. Tegenwoordig opteren de betrokken partijen van een *supply chain* echter liever voor een gesynchroniseerde aanpak van het beheer van de twee concepten. Een gesynchroniseerde aanpak zorgt namelijk niet alleen voor een efficiëntere *supply chain*, maar brengt ook een competitief voordeel ten opzichte van de concurrentie met zich mee. Dit competitieve voordeel bestaat uit een hogere utilisatiegraad van de beschikbare voertuigenvloot en de aanbieder van een betere prijskwaliteit van de aangeboden dienstverlening naar klanten toe. Met andere woorden zorgt de gesynchroniseerde aanpak voor een beter beheer van de *supply chain*<sup>5</sup> (Andersson et al., 2010).

Het beter beheren van een *supply chain* uit zich in de praktijk door gebruik te maken van een centraal SCC dat alle betrokken partijen met elkaar in verbinding stelt. Dit centrale SCC leidt, door haar coördinerende functie, tot meer economische voordelen, flexibiliteit in dienstverlening en standvastigere resultaten (Andersson et al., 2010).

Opdat een SCC in een *supply chain* haar functie efficiënt kan uitvoeren, is er echter nood aan voldoende aandacht voor het voorraadbeheer van de goederen en het correct inplannen van de leveringsritten (Archetti & Bertazzi, 2021). Zonder voldoende aandacht te besteden aan deze twee belangrijke concepten zal de huidige stedelijke problematiek zich gewoon voortzetten. Het is van belang om beide concepten niet afzonderlijk van elkaar te beschouwen, maar eerder te integreren tot één samenhangend geheel. Een SCC moet dus instaan voor de gepaste integratie van de twee concepten om een efficiënte uitvoering van haar functie te garanderen.

Deze integratie wordt alsmaar belangrijker omdat de verantwoordelijkheid voor het beheer van voorraden tijdens de laatste decennia verschoven is van de klant naar de leverancier. Doordat de verantwoordelijkheid voor het voorraadbeheer nu bij de leverancier ligt, zal deze op zijn beurt nood hebben aan een plek, aldus een SCC, nabij zijn klanten om voorraad te stockeren waar geplande ritten kunnen vertrekken. Hierbij zal het SCC dienen als een centraal gelegen depot binnen de *supply chain* (Cordeau, Laganà, Musmanno, & Vocaturo, 2015).

De integratie van de concepten voorraadbeheer en rittenplanningen binnen een SCC vereist het oplossen van een specifiek probleem. Dit probleem wordt het Voorraad- Rittenplanningsprobleem (VRP) genoemd. Om dit probleem op te lossen zal een VRP-modeloplossing gebruik maken van het SCC, ter verbetering van het stedelijke bevoorradingproces. Voor een bespreking van het VRP wordt de lezer doorverwezen naar *3 Voorraad- Rittenplanningsprobleem* en verder.

---

<sup>5</sup> Definitie beheer van een *supply chain*: Het beheren van een *supply chain* is een reeks van benaderingen om op een efficiënte manier de betrokken spelers te integreren zodat goederen in de juiste hoeveelheden, naar de juiste locatie en op het juiste moment worden geproduceerd en verdeeld, waarbij de algemene kosten worden geminimaliseerd met het doel om netwerken van organisaties te integreren en stromen van materiaal, informatie en geld te coördineren ter verbetering van de competitiviteit van de *supply chain* (Andersson, Hoff, Christiansen, Hasle, & Løkketangen, 2010).

### 2.2.3 Samenwerking tussen de onderlinge partijen

Het behalen van een competitief voordeel ten opzichte van de concurrentie is enkel voordelig indien dit voordeel op termijn behouden blijft. Door de toename van logistieke spelers op de markt en de bijhorende felle competitie onderling, is het voor de betrokken partijen van een *supply chain* daarom van belang om onderling goed samen te werken. De betrokken partijen moeten immers inzien dat het collectieve belang van de *supply chain* belangrijker is dan ieders individuele belangen (Andersson et al., 2010).

Voor een succesvolle werking van het SCC te garanderen moeten de betrokken partijen op hun beurt zorgen voor een goed niveau van samenwerking, waarbij het delen van informatie noodzakelijk is. Een goed niveau van verticale en horizontale samenwerking leidt immers tot een betere integratie van het SCC in de *supply chain* (Vural & Aktepe, 2021). Een succesvolle integratie van een SCC leidt op zijn beurt dan weer tot een betere onderlinge samenwerking doordat er informatie wordt uitgewisseld tussen de betrokken partijen. Deze informatie kan onder andere betrekking hebben op de hoeveelheden goederen van een levering of over tijdsleveringsvensters.

Het onderling delen van informatie zorgt voor een grotere beschikbaarheid van relevante data die alle betrokken partijen in staat stellen om zich beter op elkaar te kunnen afstemmen. Deze informatie-uitwisseling is nodig om de uitvoering van het SCC vlot te laten verlopen. De reden hiervoor is dat *supply chains* tegenwoordig over meerdere landen uitgestrekt zijn, omwille van de stijgende globalisering. Dit leidt tot een complexere structuur van *supply chains* waarvoor transparantie van informatie nodig is. Duidelijke onderlinge afstemming zorgt er trouwens voor dat alle partijen van een *supply chain* afstappen van hun individuele visie van kostenminimalisatie, naar een visie van algemene winst maximalisatie (Andersson et al., 2010; Crainic, Ricciardi, & Storchi, 2004).

Doorheen de voorbije jaren wordt het beheer van een *supply chain* verder vergemakkelijkt door technologische innovaties. Het digitaliseren van de data van alle partners in een *supply chain* zorgt voor openbaring van belangrijke informatie en voor een efficiëntere informatie-uitwisseling. Die informatie kan geraadpleegd worden dankzij een netwerk van apparaten, *Internet of Things*, waardoor het transport van de goederen op de voet gevolgd kan worden. Dit biedt controle, communicatie en transparantie voor alle betrokken partijen in het logistieke beheer van de goederen in kwestie (Björklund et al., 2017; Browne et al., 2018; Van Duin et al., 2010).

Ten slotte wordt er van *supply chains* verwacht dat ze zich houden aan strengere milieumaatregelen omtrent logistiek transport (Andersson et al., 2010). De implementatie van een SCC kan de efficiëntie van goederentransport verhogen, mede door onderlinge samenwerking en het delen van de nodige informatie, waardoor opstoppingen en bijhorende emissies worden gereduceerd (Allen et al., 2012).



#### 2.2.4 Voordelen bij de implementatie van een SCC

Na de verantwoording voor het implementeren van een SCC in een *supply chain* zal dit onderdeel van de masterpoef focussen op de bijhorende potentiële voordelen van een SCC. Ten eerste wordt het voordeel van informatie-uitwisseling verder uitgelegd. Ten tweede komen de financiële, sociale en milieu gerichte voordelen aan bod. Ten derde worden de voordelen van het inzetten van kleinere, milieuvriendelijke voertuigen besproken. Ten slotte volgt er deel over bijkomende activiteiten in het SCC die waarde kunnen opleveren bij het stedelijke bevoorradingsproces.

Om de algemene winst van de *supply chain* te maximaliseren, is het gebruik van *real-time* informatie nodig. *Real-time* informatie sluit nauwer aan bij de realiteit, wat voor een flexibelere werking van het SCC zorgt (Crainic et al., 2004). Zo leidt de continue, onvoorwaardelijke toegang van *real-time* informatie tot de optimalisatie van voertuigroutes die kunnen vertrekken vanuit het SCC (Björklund et al., 2017). Dankzij de *real-time* informatie kunnen routes opnieuw worden geoptimaliseerd bij onvoorziene omstandigheden. Resultaten van een studie in Zweden toonden aan dat effectieve communicatie positieve resultaten had bij de reductie van het percentage lege trips (17,3 procent naar 15,2) alsook leveringen per trip (1,97 naar 2,28) (Cattaruzza et al., 2017). Een studie van een Japans melkbedrijf toonde na één jaar gelijkaardige positieve resultaten, namelijk: reductie aantal trucks nodig van 37 naar 32 (daling van 13,5 procent) en stijging gemiddelde laadfactor van 60 naar 70 procent (Thompson & Taniguchi, 2017).

De implementatie van een SCC heeft bovendien positieve voordelen voor financiële, sociale en milieugebonden factoren. De **financiële** factor gerelateerd aan de *last-mile* levering van het stedelijke bevoorradingsproces, wordt stevig gedrukt dankzij de optie om andere, meer gepaste voertuigen in te zetten vanuit het nabije SCC (Deng et al., 2021). De voordelen voor de sociale en milieugebonden factoren stromen onrechtstreeks voort vanuit de toepassing van de andere, meer gepaste inzetbare voertuigen. Deze voertuigen opereren namelijk met een hogere laadfactor waardoor er minder voertuigen nodig zijn voor het stedelijke bevoorradingsproces. Dankzij de hogere laadfactoren van de voertuigen zullen de **milieugebonden** factoren, met name de totale afgelegde hoeveelheid kilometers, het aantal uitgestoten emissies en de hoeveelheid luchtvervuiling in de stad, verminderen (Allen et al., 2012). De voordelen voor de **sociale** factoren zijn enerzijds een vermindering van het aantal opstoppingen omdat er minder voertuigen nodig zijn om de leveringen uit te voeren. Verder zal de afname van het aantal voertuigen voor minder conflicten met andere weggebruikers zorgen en eveneens de veiligheid van voetgangers in de stad verhogen. Ten slotte zullen de hogere laadfactoren de totale tijd en ruimte die de voertuigen in beslag nemen bij levering doen afnemen, wat wederom leidt tot minder opstoppingen (Allen et al., 2012).

Ten derde kunnen er (kleinere) milieuvriendelijke voertuigen vanuit een SCC, dat nabij de stad zelf gelegen is, worden ingezet die meerdere trips per dag uitvoeren. Niet alleen stoten deze voertuigen minder uit, ze zijn ook kleiner in oppervlakte waardoor ze meer en vaker kunnen worden ingezet voor moeilijk bereikbare locaties in steden. Het inzetten van deze soort voertuigen zorgt voor een positief resultaat bij het reduceren van de uitstoot van emissies en de reductie van luchtvervuiling. Gebruik maken van meerdere kleinere voertuigen is bovendien efficiënter dan gebruik te maken van één groter voertuig (Björklund & Johansson, 2018; Van Duin et al., 2010). Kleinere milieuvriendelijke voertuigen zoals elektrische wagens of fietsen, zijn immers meer mobiel en hebben dus minder last van verkeer in de stad. Hierdoor zijn er minder opstoppingen binnen de steden en zal de verhoogde factor van flexibiliteit naar de handelaars toe leiden tot een betere kwaliteit van leveringen (Allen et al., 2012; Archetti & Bertazzi, 2021; Browne et al., 2011; Cattaruzza et al., 2017).



*Figuur 3: Elektrische cargo fiets en Figuur 4: Elektrische wagen (Browne et al., 2011)*

Ten slotte kan een SCC instaan voor de uitvoering van bijkomende logistieke activiteiten die waardevol zijn bij het stedelijke bevoorradingsproces. Naast de integratie van het voorraadbeheer en rittenplanningsbeslissingen kan het SCC dienen voor *pre-retail* activiteiten zoals het aanbrengen van labels of het behandelen van terugnames, maar ook voor het opslaan van een stock van goederen en het verwerken van afval (Allen et al., 2012; Archetti & Bertazzi, 2021; Björklund & Johansson, 2018; Browne et al., 2005; Nordtømme et al., 2015; Quak & Tavasszy, 2011).

### 2.2.5 Impactanalyse voordelen SCC over de betrokken partijen

In het vorige onderdeel van deze masterproef (zie onderdeel 2.2.4) werd een overzicht gegeven van de voordelen die tot stand komen bij de introductie van een SCC in een *supply chain*. Dit onderdeel gaat hierop verder en zal aan de hand van een impactanalyse de concrete impact van de voordelen toewijzen aan de respectievelijke betrokken partij die van het voordeel geniet (zie Figuur 2).

De locatie van een SCC gelegen nabij de binnenstad zorgt ervoor dat de **logistieke dienstverleners (LDV)** minder kilometers moet afleggen om de *last-mile* levering uit te voeren. Dit komt doordat het SCC het vertrek- en tevens het eindpunt vormt voor de levering, waardoor de afstand tussen de LDV en de handelaars kleiner wordt. De vermindering in afgelegde afstand betekent voor de LDV een reductie van emissie uitstoot. Nevens dat het SCC dient als vertrek- en eindpunt, vervult het SCC een consoliderende rol om goederen te bundelen voor uitgaande leveringen. Hierdoor stijgt de laadfactor van de voertuigen met als gevolg dat de productiviteit van de voertuigenvloot zal stijgen waardoor er minder voertuigen nodig zullen zijn. Verder profiteren LDV van een betere dienstverlening naar handelaars toe dankzij de kortere *last-mile* afstanden alsook van een verhoging van de frequentie van leveringen aan handelaars (Allen et al., 2012; Isa et al., 2021).

**Leveranciers** die samenwerken met het SCC sparen op hun beurt tijd, geld en brandstof uit omdat ze hun leveringen zelf niet meer tot aan de handelaars in de binnenstad moeten uitvoeren. De leveranciers hoeven enkel tot aan het SCC te geraken zodat hun goederen vervolgens door de LDV aan de handelaars worden geleverd. Naast het uitsparen van tijd, geld en brandstof zullen leveranciers minder emissie uitstoot hebben en dus een positieve bijdrage leveren aan het milieu wat hun imago alleen maar ten goede komt (Allen et al., 2012; Isa et al., 2021).

De **handelaars** sparen net zoals de leveranciers tijd en geld uit indien ze samenwerken met het SCC. Dit komt omdat handelaars de verantwoordelijkheid van hun voorraadbeheer afstaan aan de leveranciers en eventueel het SCC gebruiken om *pre-retail* activiteiten te voltooien. Handelaars worden op deze manier efficiënter bevoorrad op de momenten dat het nodig is. Deze efficiëntere vorm van bevoorrading zorgt er tevens voor dat de handelaars minder tijd en personeel moeten spenderen aan het inspecteren van inkomende bestellingen. Verder kunnen de handelaars veel ruimte vrijhouden in hun winkels voor andere zaken omdat het houden van een grote voorraad aan goederen niet meer noodzakelijk is (Allen et al., 2012; Isa et al., 2021).

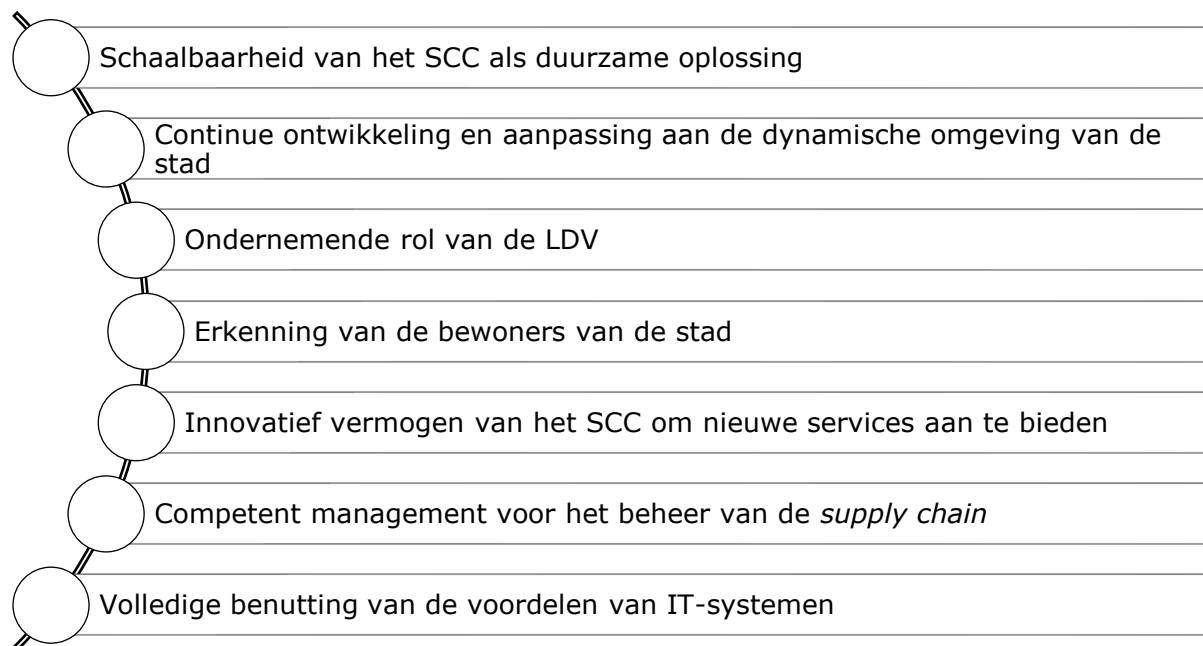
De **bewoners** en de **overheid** in de binnenstad genieten van een vermindering van het aantal voertuigen omdat het stedelijke bevoorradingsproces efficiënter verloopt. De vermindering van het aantal voertuigen in de binnenstad leidt voorts tot minder opstoppingen, minder geluidsoverlast, minder emissie uitstoot, minder luchtvervuiling en meer veiligheid in de binnenstad (Allen et al., 2012; Isa et al., 2021).

## 2.3 De opbouw van een succesvol SCC

De imminente drang naar SCC met alle bijhorende voordelen is tegenwoordig meer dan duidelijk genoeg. Steden opteren daarom vaker en vaker voor de opbouw en implementatie van SCC als belangrijk hulpmiddel bij het stedelijke bevoorradingproces. Het bouwen en implementeren van een SCC is echter een ingewikkelde kwestie op zich. De te nemen beslissingen omtrent het SCC ondervinden namelijk invloed van verschillende belanghebbende partijen (handelaars, leveranciers, bewoners, overheid en LDV) waarbij tal van moeilijke beslissingen genomen moeten worden zoals de locatiebeslissing en de kosten- baten allocaties over de partijen (Björklund et al., 2017; Van Duin et al., 2010).

### 2.3.1 Business model voor de stedelijke logistiek

Voor de opbouw en implementatie van een succesvol SCC is er allereerst een rendabel business model<sup>6</sup> nodig (Nordtømme et al., 2015; Quak, Balm, & Posthumus, 2014). Opdat er sprake is van een business model dat rendabel is, moeten er zeven kritische factoren aanwezig zijn (zie Figuur 5). Björklund et al. (2017) analyseerden deze lijst van factoren voor vijf business modellen van reeds bestaande, succesvolle Europese SCC.



Figuur 5: Kritische factoren van een rendabel business model

<sup>6</sup> Definitie van een business model: "A conceptual tool that contains a set of elements and their relationships and allows expressing the business logic of a specific firm. It is a description of the value a company offers to one or several segments of customers and of the architecture of the firm and its network of partners for creating, marketing, and delivering this value and relationship capital, to generate profitable and sustainable revenue streams" (Osterwalder, Pigneur, & Tucci, 2005).

De factoren omtrent **schaalbaarheid** en **continue ontwikkeling** zijn sterk met elkaar verbonden. Alle vijf SCC initiatieven trachtten aan de hand van duurzame ontwikkeling hun activiteiten zo optimaal mogelijk te kunnen uitvoeren. Daarnaast willen SCC hun activiteiten verder uitbreiden om zo schaalvoordelen te bereiken. Dankzij de gerealiseerde optimalisatie en uitbreidingen zouden de betrokken partijen van de *supply chain* in staat zijn om een SCC elders te implementeren in andere (kleinere) steden met een verschillende dynamische omgeving. Het oorspronkelijk opgerichte SCC is namelijk van een aanzienlijke schaal, met de uitvoering van meerdere activiteiten, waardoor het mogelijk is om bepaalde zaken te delen met toekomstige SCC initiatieven in andere steden. Zo kan de IT-infrastructuur worden overgenomen alsook de reputatie van het SCC (Allen, Browne, Woodburn, & Leonardi, 2014; Björklund et al., 2017). Een SCC zou ook op een andere manier haar schaal kunnen vergroten door verschillende kleinere, aanliggende dorpen mee op te nemen in het gebied van bevoorrading. Het toevoegen van andere dorpen zorgt tevens voor een uitbreiding van het bestaande klantenbestand (Björklund et al., 2017).

De **ondernemende rol van de LDV** houdt in dat hij instaat voor het aantrekken van voldoende logistieke partners (zie onderdeel 2.3.3). De LDV heeft hierbij een actieve rol om leveranciers te rekruteren die willen samenwerken met het SCC.

De **erkenning van de bewoners** schuilt zich in het verlagen van de sociale en milieu gerelateerde kosten (zie onderdelen 2.2.4 & 2.2.5). Door deze kosten te doen afnemen zal de levenskwaliteit van de bewoners in de stad verbeteren. Indien dit het geval is, zijn de bewoners meer geneigd om de implementatie van een SCC te helpen financieren (Björklund et al., 2017).

Het **innovatief vermogen** van een SCC om nieuwe services aan te bieden is cruciaal om de stroom van inkomsten te garanderen. Een mogelijke optie voor de LDV van het SCC is om advertenties te plaatsen op de voertuigen die de *last-mile* levering uitvoeren. Omdat de LDV gebruikt maakt van (kleinere) milieuvriendelijke voertuigen hebben de advertenties een dubbel positief effect. Ten eerste zijn de advertenties een extra bron van inkomsten voor het SCC. Ten tweede hebben de milieuvriendelijke voertuigen waarop de advertenties staan een positief effect op het imago van het bedrijf wat erop vermeld staat.

Een SCC dat haar volle capaciteit niet benut kan trouwens de overige ruimte beschikbaar stellen om goederen te stockeren waarvoor de lokale overheid geen plek heeft. Een voorbeeld hiervan is oud meubilair dat geen functie meer heeft in overheidsgebouwen. Indien het SCC dit meubilair stockeert en een inventaris bijhoudt voor eventuele verkoop, kan dit een extra bron van inkomsten opleveren. Deze overeenkomst met de overheid versterkt tevens de onderlinge relatie wat positieve gevolgen kan hebben bij de subsidiering van het SCC initiatief (Björklund et al., 2017).

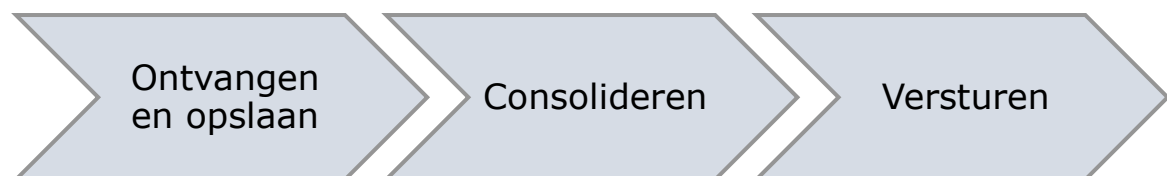
**Competent management** en **volledige benutting van IT-systemen** zijn ook aan elkaar gekoppelde factoren. Deze twee factoren zijn de onderliggende steunpilaren voor een succesvolle implementatie van een SCC (zie ook onderdelen 2.2.3, 2.2.4 & 2.3.2). Het beheer van een *supply chain* met een SCC vergt goed opgeleid personeel, capabel om de verantwoordelijkheden van management aan te kunnen. Goed opgeleid personeel met voldoende professionele kwalificaties is namelijk cruciaal om de efficiënte werking van een SCC te garanderen. Dit personeel staat in voor de informatie-uitwisseling tussen de betrokken partijen onderling om zo de samenwerking vlot te

laten verlopen. Indien de samenwerking tussen de betrokken partijen vlot blijft verlopen, zal dit uiteindelijk leiden tot een betere dienstverlening naar de klanten toe (de Carvalho et al., 2020). Het benutten van IT-systemen is hierbij cruciaal voor de toegang tot *real-time* informatie zodat de betrokken partijen in staat zijn om openlijk met elkaar samen te kunnen werken (Björklund et al., 2017).

Het definiëren van een rendabel business model biedt een stevig fundament voor alle vijf betrokken partijen van de *supply chain*. Dankzij het business model wordt er namelijk duidelijkheid geschapt rond (financiële) kwesties waarover de verschillende partijen voorheen nog onenigheden hadden. Het business model moet doorheen de tijd wel continu aangepast worden aan de dynamische omgeving om up-to-date te blijven. Op deze manier blijft het business model een relevant, rendabel hulpmiddel (Teece, 2010). Het duidelijk specificeren wat de verdeling van verantwoordelijkheden over alle partijen zal zijn, zorgt ervoor dat elke partij concreet weet wat er respectievelijk verwacht zal worden. Opdat dit kan gebeuren moet de rolverdeling voor de volgende kwesties helder zijn voor alle partijen (Björklund et al., 2017).

- Welke partijen instaan voor de financiering van het SCC.
- Welke partijen tijdens elk moment van het stedelijke bevoorradingsproces verantwoordelijk zijn.
- Wat is het respectievelijke competitieve voordeel van een SCC voor elke partij ten opzichte van de concurrentie.

Om een antwoord te bieden aan de drie voorgaande kwesties, buigt het business model<sup>6</sup> zich over de uitvoering van activiteiten voor de creatie van klantwaarde binnen het SCC (Teece, 2010). Zoals reeds aangehaald bij de functie van het SCC zijn de primaire activiteiten: het ontvangen en opslaan van inkomende zendingen, het consolideren van goederen en het versturen van uitgaande leveringen.



Figuur 6: Primaire activiteiten van het SCC

Bovenop de primaire activiteiten biedt een SCC nog tal van bijkomende waardevolle activiteiten om het klantenbestand uit te breiden. Deze bijkomende activiteiten variëren van allerlei *pre-retail* activiteiten tot het opslaan van een stock goederen. Het aanbieden van een variëteit aan bijkomende activiteiten zorgt niet enkel voor een uitbreiding van het bestaande klantenbestand, maar ook voor het aantrekken van nieuwe klanten. Dit is nodig om voldoende extra inkomsten te genereren zodat de kosten van het SCC worden gedekt (Browne et al., 2005; Lin, Chen, & Kawamura, 2016). Hoe meer klanten een SCC heeft, des te meer inkomsten het kan genereren wat voordelig is voor de financiering van het SCC.

Hogere inkomsten zorgen op hun beurt voor lagere gemiddelde (variabele) kosten, wat leidt tot eventuele schaalvoordelen. Schaalvoordelen zorgen er dan weer voor dat de betrokken partijen van de *supply chain* van een competitief voordeel genieten ten opzichte van de concurrentie. Het competitieve voordeel van de betrokken partijen ten opzichte van de concurrentie die niet deel uitmaken van de samenwerking met het SCC kan nog verder worden versterkt. Zo kan de lokale overheid, omwille van een goede samenwerking met het SCC, beslissen dat enkel voertuigen die deel uitmaken van het SCC de stad nog mogen binnen rijden. Hierdoor zullen niet-deelnemende leveranciers onrechtstreeks gedwongen worden om zich aan te sluiten bij het SCC (Allen et al., 2012, 2014; Björklund et al., 2017; Finnegan, Finlay, O'Mahony, & O'Sullivan, 2005).

### 2.3.2 Locatieselectieproces

Alvorens aan de constructie van een SCC te beginnen, moet er eerst uit een set van mogelijke opties een geschikte locatie worden gekozen. De finale beslissing voor een geschikte locatie komt voort uit een zorgvuldig locatieselectieproces. Dit proces is onderhevig aan verschillende criteria die van invloed zijn bij de keuze om de juiste locatie te selecteren. De lijst van de mogelijke criteria met bijhorende codes zijn terug te vinden in Figuur 7 (de Carvalho et al., 2020).

Code	Criteria
C1	Parking spots
C2	Traffic congestion
C3	Professional qualifications
C4	Vehicle size
C5	Local gain
C6	Insecurity
C7	Architectural impacts
C8	Damage to historical heritage
C9	Air pollution level
C10	Visual pollution
C11	Noise nuisance level
C12	Using alternative propulsion vehicle
C13	Compliance with legal regulations
C14	Use of technology
C15	Service level
C16	Investments and costs

Figuur 7: Lijst mogelijke criteria die van invloed zijn bij het locatieselectieproces (de Carvalho et al., 2020), groen = meest belangrijke criteria & rood = minst belangrijke criteria

De Carvalho et al. (2020) gingen met deze lijst aan de slag en onderzochten in Ouro Preto<sup>7</sup>, een Braziliaanse historische stad, welke criteria het meest van belang waren bij de locatiekeuze. Tijdens

<sup>7</sup> De Braziliaanse historische stad Ouro Preto vertoont gelijkenissen met oude historische Europese steden wat dit onderzoek relevant maakt voor deze masterproef (de Carvalho et al., 2020).

het onderzoek werd voornamelijk gekeken naar de belangen van rechtsreeks betrokken partijen van het bevoorradingsproces, namelijk de LDV en de handelaars. Met de belangen van andere betrokken partijen werd in het onderzoek geen rekening gehouden. Zo zou de voorkeur voor de uiteindelijke locatiebeslissing kunnen verschillen indien er met deze belangen ook rekening werd gehouden.

Uit de resultaten van de bevraging bij de LDV en de handelaars bleken de volgende criteria het meest belangrijk (zie Figuur 7, groene criteria):

- C1 Voldoende parkeerplekken
- C3 Professionele kwalificaties
- C4 Grootte van de voertuigen
- C10 Horizonvervuiling
- C14 Gebruik van technologie
- C15 Kwaliteit van de aangeboden dienstverlening

Criteria die minder van belang zijn bij het locatieselectieproces volgens de LDV en handelaars zijn (zie Figuur 7, rode criteria):

- C2 Stijging van verkeersopstoppingen
- C6 Onzekerheid
- C11 Niveau van geluidsoverlast

Concluderend uit de resultaten van de Carvalho et al. (2020) is het voor steden bij de aanleg van een SCC van belang om het aantal grote voertuigen die de stad betreden te reduceren. Wederom komt hier het belang van de omzetting van grote voertuigen naar kleinere duurzame voertuigen terug. Het inzetten van kleinere voertuigen voor de stedelijke bevoorrading is dus aanbevolen.

Nordtømme et al. (2015) onderzochten op hun beurt bij zes reeds geplaatste SCC in verschillende Europese steden naar belangrijke criteria voor de toenmalige locatiebeslissing. Hieruit bleek dat de locatie van het SCC nabij genoeg de handelaars binnenin de stad moest zijn, maar tevens ook makkelijk toegankelijk moest zijn voor de grote trucks van de leveranciers (Allen et al., 2012).

Een geschikte locatie kiezen is nog maar de eerste stap tot het bereiken van het SCC als duurzame efficiënte oplossing voor het stedelijke bevoorradingsproces. De volgende stap bestaat erin om naast de daadwerkelijke opbouw van het SCC zelf, te bouwen aan een netwerk van algemene samenwerking. De vijf betrokken partijen moeten dus bouwen aan sterke relaties met de andere betrokkenen van de *supply chain*. Het bouwen van sterke relaties met anderen is nodig voor de bevordering van de onderlinge horizontale samenwerking. Hierdoor kan er een sterk netwerk ontstaan dat zich strekt over alle partners die betrokken zijn bij de gehele *supply chain* waarbij er ruimte is voor onderling open met elkaar te communiceren (Nordtømme et al., 2015; Vural & Aktepe, 2021).



### 2.3.3 Structurele voorwaarden SCC

Nadat een geschikte locatie is voorzien en er een goed niveau van samenwerking tussen de vijf betrokken partijen heerst, kan het SCC worden geïmplementeerd in het stedelijke bevoorradingsproces. Vooraleer het SCC effectief succesvol in werking kan gaan, moet er eerst nog aan twee belangrijke structurele voorwaarden worden voldaan. Mits dit niet gebeurt zal het SCC falen in haar doel om een duurzame, slimme oplossing te bieden voor de stedelijke problematiek (Deng et al., 2021; Van Duin et al., 2010).

Een **eerste structurele voorwaarde** is dat er **voldoende logistieke partners** aanwezig zijn die willen samenwerken met het SCC. Dit is nodig om de hoge (variabele) kosten bij de opstart te kunnen drukken. De LDV van het SCC voert de *last-mile* levering uit in de plaats van de leverancier en neemt de kosten van levering op zich. In ruil vraagt de LDV wel een vergoeding aan de leverancier om de *last-mile* levering uit te voeren in zijn plaats. Ingeval er een gebrek is aan leveranciers die willen samenwerken met het SCC zal deze kost hoog blijven. Hierdoor zullen nieuwe leveranciers niet geneigd zijn om deel te nemen aan de samenwerking en zullen de reeds deelnemende leveranciers de samenwerking met het SCC stop zetten. In dit geval kan het SCC op lange termijn niet rendabel blijven. Een SCC kan op lange termijn enkel winstgevend zijn als voldoende logistieke bedrijven gebruik maken van het SCC. Doordat voldoende (tot alle) leveranciers gebruik maken van de samenwerking met het SCC, zullen deze genieten van lagere variabele kosten (Deng et al., 2021; Van Duin et al., 2010).

Een **tweede structurele voorwaarde** bekommert zich over de **organisatie van het SCC**. Het initiatief om een SCC op te richten zonder tussenkomst van de overheid bleek in het verleden al vaak nagenoeg onmogelijk (Deng et al., 2021). Het introduceren van nieuwe initiatieven om de stedelijke problematiek op te lossen vereist een **goede samenwerking tussen de overheid en private partijen** (Björklund et al., 2017; Lindholm & Browne, 2013). Privaat opgerichte SCC kunnen mogelijk succesvol zijn, maar hebben om te slagen bijkomende subsidies van de overheid nodig (Quak & Tavasszy, 2011).

Dit komt omdat de kosten gerelateerd aan de werking en opbouw van het SCC volledig voor de LDV zijn. Deze kosten kunnen naargelang de tijd wel verminderen doordat de LDV met meer en meer leveranciers kan samenwerken en de uitvoering van activiteiten optimaal verloopt. Op deze manier zullen de inkomsten van het SCC stijgen door de additionele bijdrages van nieuwe leveranciers. Het vinden van voldoende partners is niet altijd gegarandeerd en kan soms enkele jaren duren. Daarom zijn subsidies dusdanig het hardst nodig tijdens de eerste jaren van de werking van het SCC ter ondersteuning van de LDV. Nadat het SCC enkele jaren actief is, kan de overheid de uitkering van subsidies beginnen verminderen mits dit mogelijk is. Zodra het SCC voldoende partners heeft die hun bijdrage leveren en inkomsten kan genereren uit eigen activiteiten, aldus niet meer afhankelijk is van subsidies, kan de overheid haar bijdrage stopzetten. Zolang het SCC echter afhankelijk is van deze ondersteunende maatregelen, kan er best geen einddatum aan de subsidies verbonden zijn. Indien de uitkering van subsidies toch vroegtijdig wordt stopgezet, blijft het risico op falen bestaan omdat het SCC nog niet op eigen benen kan staan (Allen et al., 2012; Lindholm & Browne, 2013; Van Duin et al., 2010).

## 2.4 Problemen die het succes van een SCC beïnvloeden

Nadat de beslissingen omtrent de opbouw en implementatie van een SCC zijn gemaakt, is er bovendien nood om enige aandacht te besteden aan eventuele problemen die kunnen opduiken. Deze problemen kunnen barrières<sup>8</sup> vormen tegen een succesvolle implementatie van een SCC. Het is belangrijk om met die mogelijke problemen rekening te houden, alvorens aan de opbouw van een SCC te beginnen. Op deze manier worden de problemen in acht genomen bij het uiteindelijke implementatieproces van het SCC, waardoor er zich geen ongewenste verrassingen meer kunnen voordoen. Allereerst volgt er een introductie over de verschillende soorten barrières waaruit problemen kunnen voorkomen. Daarna trachten de volgende paragrafen een overzicht te bieden van de soorten problemen die mogelijks van toepassing kunnen zijn bij een SCC.

Problemen die zich voordoen bij het implementatieproces van een SCC kunnen altijd toegewezen worden aan een specifieke barrièrecategorie (Nordtømme et al., 2015). Deze categorieën van barrières zijn als volgt:

- De **financiële & praktische** barrières hebben betrekking op de problemen omtrent de kosten(verdeling) bij een SCC en de nodige voorwaarden om een succesvolle opstart te garanderen (zie onderdelen 2.3.3 & 2.4.3)
- De **sociale & culturele** barrières gaan enerzijds over de weerstand van de betrokken partijen tegen een nieuw alternatief (SCC) dat de huidige gang van zaken zal doen veranderen en anderzijds over de culturele verschillen tussen de betrokken partijen (zie onderdeel 2.4.1).
- De **institutionele** barrières komen voor bij coördinatieproblemen tussen de betrokken partijen onderling of wanneer meerdere beleidsmaatregelen met elkaar in conflict komen (zie onderdeel 2.4.1).
- De **legale** barrières doen zich voor bij legale, politieke problemen wanneer er sprake is van complicaties met de huidige wetgeving (zie onderdeel 2.4.2).

Een oplossing vinden voor (een) barrière(s), met bijhorende problemen, is noodzakelijk om de toekomstige werking van het SCC niet in het gedrang te brengen. Een goede strategie om dit te verwezenlijken is het opstellen van een gezond, rendabel business model. Het business model schept duidelijkheid over kwesties waar voorheen onzekerheid over bestond en stelt dankzij de gecreëerde duidelijkheid alle betrokken partijen gerust alvorens de opstart van het SCC (Nordtømme et al., 2015).

---

<sup>8</sup> Definitie van een barrière: Een obstakel die de invoering van potentiële beleidsmaatregelen in zijn ideale vorm voorkomt of de manier van invoering ervan enigszins beperkt (Banister, 2005; May, Kelly, & Shepherd, 2006).

#### 2.4.1 Interne belangenconflicten tussen de betrokken partijen

Een efficiënt stedelijk bevoorradingsproces steunt op een goed niveau van onderlinge samenwerking waarbij de betrokken partijen onderling sterke relaties met elkaar opbouwen. Deze eerder benoemde partijen zijn de handelaars, de leveranciers, de bewoners, de overheid en tot slotte de LDV (Nordtømme et al., 2015; Vural & Aktepe, 2021). Indien de samenwerking tussen de betrokken partijen niet zo vlot loopt, zal de efficiëntie van het stedelijke bevoorradingsproces hier onder leiden. De samenwerking kan immers worden verstoord door interne belangenconflicten tussen de verschillende partijen (sociale & culturele barrières). Elk van de vijf partijen heeft namelijk een verschillende rol binnen het proces met bijhorende problemen en doelen, waardoor het moeilijk is om de belangen van alle partijen op één lijn te krijgen (institutionele barrière). Een SCC implementeren waarbij iedere partij tevreden is, is daarom niet vanzelfsprekend (Quak & Tavasszy, 2011; Thompson & Taniguchi, 2017).

#### 2.4.2 Legale problemen met externe leveranciers

Voldoende logistieke partners vinden om de succesvolle opstart en werking van een SCC te garanderen, kan gestimuleerd worden door de lokale overheid (zie onderdeel 2.3.3). De lokale overheid kan mogelijks niet-deelnemende leveranciers de toegang tot de binnenstad ontzeggen, ingeval ze geen deel willen uitmaken van de samenwerking met het SCC. Dit zorgt voor een stimulerend effect om als niet-deelnemende leverancier zich toch aan te sluiten bij het SCC. Echter brengt deze maatregel van de overheid veel last met zich mee voor de leveranciers die nog steeds weigeren om logistieke partner te worden van het SCC. Mogelijke redenen voor leveranciers om deelname te weigeren zijn verlies van controle over hun levering, verlies van rechtstreeks contact met hun klanten of verlies van promotiekansen doordat eigen trucks met hun logo erop niet meer de stad binnen mogen (Isa et al., 2021). De niet-deelnemende leveranciers kunnen op hun beurt juridische stappen ondernemen door in beroep te gaan tegen het verbod dat hun opgelegd wordt door de lokale overheid omdat ze zich benadeeld voelen. Indien enkele niet-deelnemende leveranciers wel degelijk tegen het verbod in beroep gaan, zal dit veel legale kosten en politieke problemen opleveren voor de betrokken partijen van het SCC (legale barrière) (Allen et al., 2012).

#### 2.4.3 Kwantificeren van kosten voor sociale en milieugebonden factoren

Het toevoegen van een SCC aan een *supply chain* brengt vele voordelen voor de betrokken partijen met zich mee (zie onderdeel 2.2.4 & 2.2.5). Deze voordelen kunnen financieel, sociaal of milieu van aard zijn, waarbij de financiële voordelen het makkelijkst kwantificeerbaar zijn. Het is echter niet zo eenvoudig om de twee laatstgenoemde voordelen te kwantificeren. Met name de sociale voordelen voor de bewoners van de stad (minder opstoppingen en het verhogen van de veiligheid) en de vermindering van externe milieu gerelateerde kosten (emissie uitstoot en luchtvervuiling) zijn niet eenvoudig in monetaire waarden uit te drukken. Dit kan ervoor zorgen dat niet alle voordelen van een SCC goed in kaart worden gebracht, waardoor het totale voordeel van een SCC onderschat wordt. Deze financiële & praktische barrières zorgen ervoor dat het initiatief om een SCC te implementeren in een *supply chain* minder aantrekkelijk lijkt dan het wel degelijk is (Björklund et al., 2017; Isa et al., 2021).

## 2.5 Conclusie SCC

In het finale onderdeel van dit hoofdstuk wordt er een tussentijdse conclusie gegeven over alle voorgaande informatie omtrent het SCC. Het SCC dient namelijk, met behulp van een rendabel business plan, als een centraal depot om de stedelijke bevoorrading te vergemakkelijken. De centrale ligging van het SCC stelt alle vijf betrokken partijen in verbinding met elkaar en brengt allerlei voordelen voor de betrokken partijen op. De voornaamste voordelen hierbij zijn het verlagen van de tijdsdruk voor de leveranciers bij leveringen, het inzetten van andere milieuvriendelijkere voertuigen, het verminderen van opstoppingen en het verlagen van de emissie uitstoot. Het SCC initiatief is dus een efficiënte, kostenbesparende en duurzame oplossing om de stedelijke problematiek, met name de *last-mile* levering, aan te pakken.

Opdat het SCC succesvol is en zal blijven, moeten er voldoende logistieke partners willen samenwerken met het SCC en zullen er bijkomende subsidies nodig zijn bij de opstart tijdens de beginjaren. Hiernaast zullen de vijf betrokken partijen enkele barrières moeten overwinnen zoals het oplossen van interne belangenconflicten. Verder dienen de betrokken partijen wel degelijk te geloven in het potentieel van het SCC initiatief, door middel van alle relevante kosten en voordelen concreet op te lijsten. Indien de betrokken partijen hierin slagen, kunnen ze dankzij een goede onderlinge samenwerking en informatie-uitwisseling de toekomstige succesvolle werking van het SCC blijven garanderen.

Het SCC maakt tevens, doordat het een centraal depot is, de zoektocht naar een VRP-modeloplossing eenvoudiger. Het VRP wordt in het volgende hoofdstuk van deze masterproef toegelicht. In dit opkomende hoofdstuk zal het nut van een SCC, opgenomen in de VRP-modeloplossing, aan de hand van een fictief voorbeeld en later ook in het praktijkdeel worden aangetoond. Zo kan het SCC gebruikt worden om kosten te besparen bij de uitvoering van de *last-mile* levering.



### 3 Voorraad- Rittenplanningsprobleem

In het volgende deel van deze masterproef zal het begrip Voorraad-Rittenplanningsprobleem aan bod komen. Allereerst wordt het begrip VRP uitgelegd en toegelicht met behulp van een illustratief voorbeeld. Ten tweede zal er een lijst met diverse criteria volgen om VRP modellen te classificeren. Ten derde zal er aan de hand van de besproken classificatie methode, enkele basisversies en daaropvolgende uitbreidingen besproken worden. Ten vierde volgt er onderdeel over oplossingsmethodes voor VRP modellen. Ten slotte wordt er een blik geworpen op mogelijke verbeteringen van VRP modellen naar de toekomst toe.

#### 3.1 Het begrip VRP

Deze paragraaf start met een introductie van het Voorraad- Rittenplanningsprobleem (VRP). In het begrip VRP zitten twee afzonderlijke componenten, namelijk voorraadbeheer en rittenplanningsbeslissingen, die op elkaar afgestemd moeten worden. Deze twee begrippen worden vervolgens kort toegelicht, waarop de uitleg van het VRP begrip volgt. Om dit begrip voor de lezer duidelijker te maken, is er een eenvoudig illustratief voorbeeld toegevoegd.

##### 3.1.1 Voorraadbeheer

Tegenwoordig worden voorraden gebruikt om een snelle service aan te bieden aan klanten en als buffer om onzekerheden over de stochastische klantvraag op te vangen. Het beheren van een voorraad dient dus als soort van verzekering om het verschil tussen vraag en aanbod te compenseren. De planning omtrent de voorraadniveaus is een keuze die een impact heeft voor een periode van enkele maanden en wordt dus beschouwd op een **tactisch niveau**.

##### 3.1.2 Rittenplanningsbeslissingen

De rittenplanning bevat de beslissingen over welk voertuig naar welke klant gaat en ook in welke volgorde elk voertuig zijn klanten bezoekt. Deze beslissingen zijn van dagelijkse aard en worden dus beschouwd op een **operationeel niveau**. In de basisversie van het rittenplanningsprobleem starten de voertuigen allemaal in het centrale depot en zullen na hun route wederom terugkeren naar het startpunt. Indien de voertuigen niet vertrekken of eindigen in een centraal depot, dan is er sprake van een *Pick-up en Delivery Problem* (PLP). Deze masterproef zal enkel de focus leggen op rittenplanningen met een centraal depot, PLP zullen niet verder besproken worden. Deze rittenplanningsbeslissingen worden gemaakt om de totale transportkosten te minimaliseren. De leverancier moet hierbij rekening houden met de afstanden tussen zijn centrale depot en het verspreide klantenbestand, het aantal beschikbare voertuigen, chauffeurs en tijdsvensters om de producten te leveren (A. M. Campbell & Savelsbergh, 2004; Coelho et al., 2014).

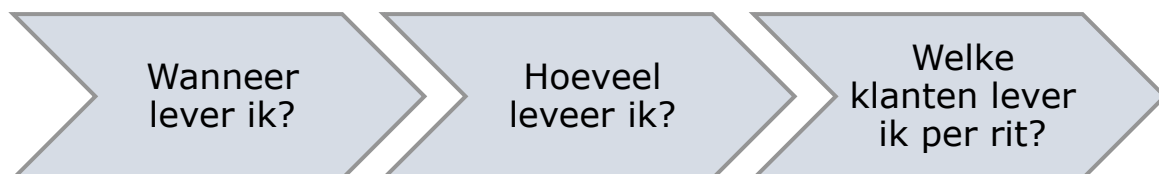
### 3.1.3 Voorraad- Rittenplanningsbeslissingen Probleem

Het begrip VRP combineert de twee voorgaande componenten en probeert zo om bepaalde relaties en verbanden tussen de verschillende actoren van een *supply chain* te verduidelijken. Het VRP komt voort uit de studie van *Vendor-Managed Inventory (VMI)*, dat zijn oorsprong vindt in de paper van (Bell et al., 1983). Bij VMI zal een leverancier, na afspraak met de betrokken klant, het voorraadbeheer regelen voor de klant. De leverancier kan zelf kiezen wanneer en hoeveel hij levert en in ruil zorgt hij ervoor dat de klant nooit zonder voorraad zit, er geen *stockout*<sup>9</sup> plaats vindt. Klanten plaatsen dus zelf geen bestelling bij de leverancier indien hun voorraad bijna op is, maar vertrouwen op de relatie met hun leverancier. Deze synergie zorgt ervoor dat de leverancier kosten kan besparen door leveringen naar klanten te coördineren met elkaar. Klanten sparen op hun beurt moeite uit omdat er geen voorraadsbeheercontrole vereist is (Andersson et al., 2010; A. M. Campbell & Savelsbergh, 2004; Cordeau et al., 2015; Vadseth, Andersson, & Stålhane, 2021).

Dat de leverancier het voorraadbeheer regelt voor de klanten is tevens het achterliggende principe bij het VRP waarbij een leverancier zijn voertuigenvloot optimaal moet benutten ter bevoorrading van de klanten. Elke klant beschikt over een lokale capaciteit om voorraad op te slaan, maar is afhankelijk van de leverancier wanneer deze op geraakt. De leverancier bepaalt zelf elke dag of en hoeveel er aan elke klant geleverd zal worden op basis van het resterende voorraadvolume bij de klant, dat als resultaat overblijft na hun productverbruik.

Hierbij moet de leverancier elke dag drie belangrijke keuzes maken, namelijk:

- 1) Tijdstip van klantbevoorrading
- 2) Hoeveelheid producten bij de bevoorrading
- 3) Combinatie van klanten bij de verschillende routes.



*Figuur 8: Keuzes die gemaakt moeten worden door de leverancier*

Deze drie keuzes efficiënt met elkaar afstemmen, ter formatie van een leveringsstrategie, wordt het VRP genoemd. Het doel van de strategie is om de totale kosten van voorraad en distributie te minimaliseren, terwijl *stockouts* (gebrek aan voorraad) bij klanten worden vermeden (Andersson et al., 2010; Archetti & Bertazzi, 2021; Bertazzi & Speranza, 2013; A. Campbell, Clarke, Kleywegt, & Savelsbergh, 1998; A. M. Campbell & Savelsbergh, 2004; Coelho et al., 2014; Cordeau et al., 2015).

Hier volgt een fictief voorbeeld van een VRP op kleine schaal waarbij één leverancier instaat voor de bevoorrading van vier handelaars (zie Figuur 9). De rittenplanning en bijhorende voorraadvolumes worden voor twee opeenvolgende dagen besproken. De leverancier vertrekt in het begin van een rit

---

<sup>9</sup> Definitie *stockout*: Wanneer de voorraad oprakt zal het voorraadvolume negatief worden. Negatieve voorraadvolumes kunnen een extra penalty kost met zich meebrengen (Coelho et al., 2014).

vanuit het centrale depot (SCC) en zal na de rit te hebben afgerond wederom eindigen in het SCC. Ter vereenvoudiging van het fictieve voorbeeld, worden de assumpties gemaakt dat de leverancier altijd over voldoende voorraad beschikt en dat handelaars altijd tot aan hun capaciteit bevoorraad worden. Het bijhorende voorraadniveau ( $V$ ) van het SCC is voor simpliciteit oneindig ( $\infty$ ). De voorraadniveaus van de handelaars zijn afhankelijk van hun respectievelijke lokale capaciteit en hun dagelijkse productverbruik. De rittenplanningsbeslissing van de leverancier om een bepaalde handelaar al dan niet te bevoorraden tot aan capaciteit, wordt door deze twee factoren beïnvloedt. De cijfers van de lokale capaciteiten, het dagelijkse productverbruik en de voorraadniveaus ( $V$ ) van alle handelaars zijn terug te vinden op de onderstaande tabellen (zie Tabel 2 en Tabel 3).

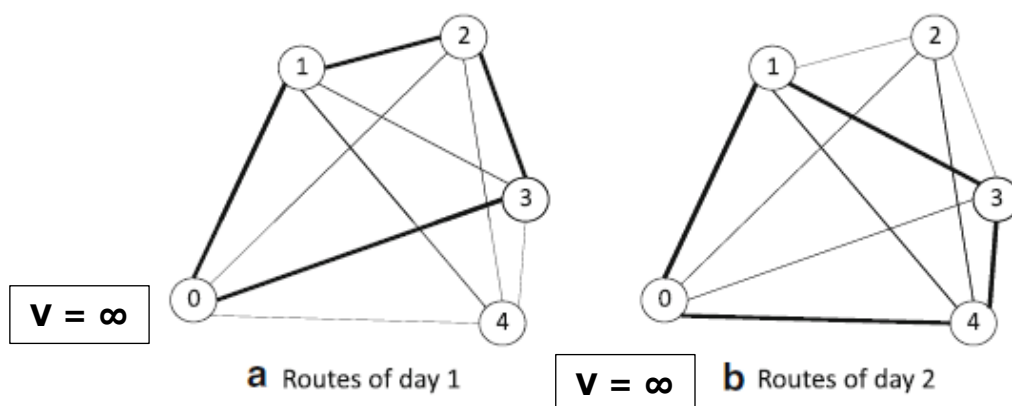
Dag 1	Handelaar 1	Handelaar 2	Handelaar 3	Handelaar 4
Capaciteit	60	120	50	100
Productverbruik	40	30	30	40
Voorraadniveau	20	90	20	60
Levering leverancier	40	30	30	0

Tabel 2: Voorraadbeheer en rittenplanning dag 1

Dag 2	Handelaar 1	Handelaar 2	Handelaar 3	Handelaar 4
Capaciteit	60	120	50	100
Productverbruik	40	30	30	40
Voorraadniveau	20	90	20	20
Levering leverancier	40	0	30	80

Tabel 3: Voorraadbeheer en rittenplanning dag 2

Op dag één voert de leverancier een rit uit waarbij handelaars één, twee en drie worden bezocht. De dag nadien bezoekt de leverancier handelaars één, drie en vier op zijn rit. De leverancier bezoekt de handelaars één en drie op beide dagen en de handelaars twee en vier op één van de twee dagen. Dit kan te maken hebben met de twee benoemde factoren die van invloed zijn bij de rittenplanning, maar kan ook te maken hebben met de capaciteit van de voertuigen.



Figuur 9: Mogelijke oplossing van een VRP op kleine schaal (0 is het SCC, 1-4 zijn handelaars) (Bertazzi & Speranza, 2013)



### 3.2 Classificatie VRP

Na een verklarende uitleg van het VRP begrip, zal deze paragraaf zich buigen over de classificatie van VRP modellen. Aan de hand van een lijst met diverse criteria is het namelijk mogelijk om VRP te classificeren.

De zoektocht naar een gepaste strategie voor het VRP is een complexe, niet voor de hand liggende opdracht. Elk afzonderlijk VRP is namelijk uniek, omwille van de vele variabelen die van invloed zijn bij het opstellen van de strategie. Zoals reeds eerder aangehaald moet er onder andere aandacht worden besteed aan de beslissingen over de variabelen van het aantal voertuigen dat nodig is, de grootte van de voertuigen, het leveringstijdsvenster, het aantal trips per voertuig,... Voorts zal er rekening gehouden moeten worden met de context van de situatie en de factoren die van invloed kunnen zijn. Hier komen gebieden in steden met beperkte toegang, tijdsvensters of gebrek aan ladingszones ook weer aan bod (de Carvalho et al., 2020; Deng et al., 2021).

Verder is elk VRP afhankelijk van de *supply chain* waarin het probleem zich situeert. Zo zijn er VRP voor de maritieme logistiek, chemische componenten logistiek en voor het transport van goederen over de weg. Kortom, er bestaat met andere woorden geen vooropgestelde modeloplossing (A. Campbell et al., 1998; Coelho et al., 2014). Ondanks dat er veel modellen opgesteld zijn voor VRP van maritieme logistiek, focust deze masterproef zich op de stedelijke logistiek.

Om structuur te bieden bij de zoektocht naar een gepaste oplossing, zijn er enkele criteria met bijhorende mogelijke opties om VRP te classificeren (Tabel 4). Een verklarende uitleg van de criteria is terug te vinden in de bijlagen (zie Bijlage 1).

Criteria	Possible options		
	Instant	Finite	Infinite
Time horizon	Instant	Finite	Infinite
Demand	Stochastic	Deterministic	
Structure	One-to-one	One-to-many	Many-to-many
Routing	Direct	Multiple	Continuous
Inventory policy	Maximum level (ML)	Order-up-to level (OU)	
Inventory decisions	Lost sales	Back-order	Non-negative
Fleet composition	Homogeneous	Heterogeneous	
Fleet size	Single	Multiple	Unconstrained

Tabel 4: Lijst van criteria en mogelijke opties gebaseerd op (Andersson et al., 2010) en (Coelho et al., 2014)

Aan de hand van tabel vier is het dus mogelijk om ondersteuning te bieden bij de opstelling van een oplossingsmodel voor een VRP. Het desbetreffende VRP wordt door de mogelijke opties afgebakend, waardoor het opstellen van een oplossingsmodel met een set van variabelen en bijhorende beperkingen makkelijker wordt. Het doel van de oplossing is het minimaliseren van de totale kosten van voorraadbeheer (houden van voorraad, *stockout* en penaltykosten) en rittenplanning (transportkosten), terwijl de leverancier steeds aan de vraag van de klanten tracht te voldoen (Andersson et al., 2010; Archetti & Bertazzi, 2021; Bertazzi & Speranza, 2013; A. Campbell et al., 1998; Coelho et al., 2014; Cordeau et al., 2015).

Met de mogelijkheid om verschillende VRP modellen te classificeren, zal er in de volgende paragraaf 3.3 *Basisversies van VRP modellen* enkele classificaties besproken worden. Vervolgens worden een aantal mogelijke uitbreidingen aangehaald. Een overzicht is terug te vinden in Tabel 5 (voor meer informatie over de tabel wordt verwezen naar de voetnoot onder de tabel).

### 3.3 Basisversies van VRP modellen

In deze paragraaf worden de basisversies van VRP modellen en enkele uitbreidingen besproken. De basisversies worden geklasseerd aan de hand van twee hoofdkenmerken gerelateerd aan de beschikbaarheid van informatie over de vraag. Enerzijds of de vraag statisch of dynamisch is en anderzijds of de vraag deterministisch of stochastisch is<sup>10</sup>. De uitbreidingen volgen na de bespreking van de basisversies.

#### 3.3.1 Statische deterministische VRP

De eerste VRP modellen zijn statisch en deterministisch van aard. Bij de zogenaamde basisversies is de vraag van de klanten op voorhand volledig gekend, waardoor er relatief weinig kans is op een *stockout* voor de klant. Een simpele standaardversie, namelijk deze van (Bell et al., 1983) (Tabel 5), toont op een eenvoudige manier aan hoe een modeloplossing opgebouwd kan worden. Dit theoretische model gaat over een enkele leverancier die één product levert aan meerdere klanten. De leverancier beschikt over meerdere heterogene voertuigen en kan per route meerdere klanten bevoorraden.

Ondanks dat statische, deterministische VRP modellen alle mogelijke opties kunnen aannemen voor de criteria vermeld in tabel vier, is het niet realistisch in de praktijk dat de klantvraag met volle zekerheid op voorhand volledig gekend is. In de praktijk is er namelijk altijd enige onzekerheid over de vraag van de klanten. Daarom werd er bij sommige latere modellen geopteerd om een stochastische klantvraag aan te nemen, zodat het model nauwer aansloot bij de realiteit (A. Campbell et al., 1998; Coelho et al., 2014).

#### 3.3.2 Statische stochastische VRP

Bij de statische, stochastische VRP modellen is de informatie van de klantvraag nog steeds op voorhand beschikbaar, maar er is geen volle zekerheid wat deze exact zal zijn. Er is dus sprake van een kansverdeling, om de onzekerheid over de klantvraag aan te tonen. Deze onzekerheid van het stochastische VRP model (SVRP) brengt een grotere kans op *stockout* met zich mee. Om deze *stockouts* tegen te gaan zal de leverancier een penalty kost opnemen in zijn model om eventuele *stockouts* te vermijden.

---

<sup>10</sup> **Statisch:** Informatie over de vraag is op voorhand volledig beschikbaar.

**Dynamisch:** Informatie over de vraag komt gedurende de planning periode geleidelijk aan beschikbaar.

**Deterministisch:** Informatie over de vraag is volledig gekend.

**Stochastisch:** Informatie over de vraag is niet volledig gekend omdat er een zekere onzekerheid rond heerst.

De penalty kost is meestal in proportie met de onbevredigde vraag hoeveelheid. Hoewel gebruik van een stochastische kansverdeling al een goede stap vooruit is, blijft er toch nog enige discrepantie tussen de theoretische modellen en de realiteit. Een realistisch VRP is een dynamisch lange termijn probleem met een stochastische klantvraag (Archetti & Bertazzi, 2021). Om beter aan te sluiten bij de realiteit, werd de assumptie van een statische klantvraag vervangen door een dynamische (Andersson et al., 2010; A. Campbell et al., 1998; Cattaruzza et al., 2017; Coelho et al., 2014).

### 3.3.3 Dynamische stochastische VRP

De dynamische stochastische VRP modellen (DSVRP)<sup>11</sup> werken eveneens met een kansverdeling om de onzekerheid omtrent de klantvraag op te nemen. Het verschil bij DSVRP is dat de informatie van de klantvraag niet meer volledig in het begin beschikbaar is, maar gedurende de planningsperiode beschikbaar wordt voor de leverancier. Een voorbeeld van een DSVRP model is dat van Campbell et al. (Tabel 5). Bij dit model gaat het ook over een enkele leverancier die één product levert aan meerdere klanten. De leverancier beschikt over meerdere homogene voertuigen en kan per route meerdere klanten bevoorraden. Eventuele extra voertuigcapaciteit kan geraadpleegd worden moest dit nodig zijn indien de klantvraag in latere periodes significant stijgt. Om de onzekerheid van de stochastische vraag enigszins op te vangen, maken leveranciers vaak gebruik van een algoritme dat het optimale leverschema per klant bepaalt en de bijhorende kost om daar van af te wijken (Andersson et al., 2010; Coelho et al., 2014).

### 3.3.4 Verschillende extensies

Gedurende de voorbije dertig jaar zijn er nog talrijke modellen opgesteld, die dienden als uitbreidingen van de basisversies. Deze complexere extensies van de basisversie trachtten telkens meer factoren in rekening te brengen, zodat het model nauwer aansloot bij de realiteit. Tot nog toe gaan alle voorgaande modellen omtrent VRP over het aanbieden van één product. In de realiteit beschikken leveranciers echter over een uitgebreid productgamma dat aangeboden kan worden aan klanten. Recente uitbreidingen van VRP modellen bevatten daarom het aanbod van meerdere producten.

Voorbeelden van een multi-product, multi-voertuig VRP zijn die van (Coelho & Laporte, 2013) en (Cordeau et al., 2015) (Tabel 5). De leverancier is hier verantwoordelijk voor de bevoorrading van meerdere producten aan diverse klanten. Het model maakt wel gebruik van de assumptie dat de vraag deterministisch is, om met een exact algoritme een oplossing te kunnen bekomen. Het gevolg van deze assumptie is dat de leverancier over complete informatie van de klantvraag voor de komende periodes beschikt. Hierdoor weet de leverancier exact hoeveel voorraad er bij elke klant aanwezig is en hoeveel er dus geleverd zal moeten worden om een *stockout* te vermijden.

---

<sup>11</sup> Voor simpliciteit zal in de rest van deze masterproef voor de verwijzing naar DSVRP telkens het begrip VRP worden gebruikt.

Om de oplossing van een VRP model realistischer te maken zodat het nauwer aansluit bij de realiteit, werden er nog twee uitbreidingen geïntroduceerd. Een eerste uitbreiding is het beheer van werknemers. Er wordt namelijk geopteerd om consistentie te kweken bij de chauffeurs door ze zo vaak mogelijk leveringen te laten uitvoeren voor dezelfde klanten. Ten tweede wordt er ook gekeken om voldoende tijd tussen opeenvolgende leveringen naar dezelfde klant te laten, met het oog op een vlotter verloop van leveringen. Beide elementen komen de kwaliteit van de oplossing ten goede (Coelho et al., 2014; Coelho & Laporte, 2013).

Nog een mogelijke uitbreiding is om een levering van klanten rechtstreeks uit te voeren, indien de bestelling nagenoeg gelijk is aan de capaciteit van het voertuig dat kan leveren. Voorts kan een deel van een levering worden (her)verdeeld onder klanten door middel van *transshipments* tussen verschillende locaties (Coelho et al., 2014).

Een andere optie is om het doel van een VRP te verschuiven van kosten minimalisatie naar winst maximalisatie. Er zijn tegenwoordig naast de leverancier zelf zoveel verschillende actoren aanwezig in een *supply chain* met allemaal hun eigen doel voor ogen. Deze andere actoren oefenen (on)rechtstreeks een invloed uit bij het zoeken naar een oplossing van een VRP. In plaats van dat de leverancier enkel de eigen kosten tracht te beperken, kan er beter gekeken worden naar het maximaliseren van de totale winst (Andersson et al., 2010).

Model	Time Horizon			Demand		Structure			Routing			Inventory policy			Inventory decisions			Fleet composition		Fleet size		
	Instant	Finite	Infinite	Stochastic	Deterministic	One-to-one	One-to-many	Many-to-many	Direct	Multiple	Continuous	Maximum level (ML)	Order-up-to level	Lost sales	Back-order	Non-negative	Homogeneous	Heterogeneous	Single	Multiple	Unconstrained	
(Bell et al.)		✓			✓		✓			✓				✓				✓			✓	
(A. Campbell et al.)	✓				✓		✓			✓				✓				✓		✓		
(Coelho & Laporte)*		✓			✓		✓			✓					✓			✓			✓	
(Cordeau et al.)*		✓			✓		✓			✓				✓				✓			✓	
(Raa & Dullaert)	✓				✓		✓			✓				✓				✓			✓	
(Hiassat, Diabat, & Rahwan)		✓			✓		✓			✓					✓			✓			✓	
(Iswari et al., 2022)		✓			✓	✓				✓						✓		✓			✓	

Tabel 5: Classificatietabel van modellen, \* = model met meerdere producten<sup>12</sup>

<sup>12</sup> De indelingen van bijkomende modellen zijn terug te vinden in de papers van (Andersson et al.) en (Coelho et al.).

### 3.4 VRP oplossen

Zodra een VRP model geclassificeerd en opgesteld is, is dat model klaar om opgelost te worden. Het opgestelde VRP model bevat talrijke variabelen waarvoor concrete getalwaarden voor gevonden moeten worden opdat het echt van nut kan zijn voor een leverancier. Deze paragraaf bevat een stappenplan voor het oplossen voor een VRP zodat het bruikbaar is in de realiteit.

Een VRP model kan worden opgelost aan de hand van exacte algoritmes en/of heuristieken. Deze algoritmes en heuristieken dienen om getalwaarden voor de variabelen te vinden met het oog op het minimaliseren van de totale kosten van voorraadbeheer (houden van voorraad, *stockout* en penaltykosten) en rittenplanning (transportkosten), terwijl de leverancier steeds aan de vraag van de klanten tracht te voldoen.

Voor de eerder vermelde statische basisversies (3.3.1-3.3.2) is het nog mogelijk om met simpele algoritmes een oplossing te bekomen. Het oplossen van de complexere modellen met exacte algoritmes blijkt echter niet mogelijk. Door de overvloed aan variabelen in combinatie dat een VRP inherent stochastisch, dynamisch en voor lange termijn geldend is, kan er vaak geen exacte oplossing worden bekomen omdat het model moeilijk formuleerbaar is (A. Campbell et al., 1998; Coelho et al., 2014).

De complexere dynamische modellen zijn dus te uitgebreid om in één keer op te lossen. Veel modellen worden daarom eenvoudiger gemaakt door het model op te verdelen in simpelere hiërarchische versies van kortere termijn. Hierdoor is het toepassen van (meta)heuristieken wel mogelijk. Bij de opstelling van overzichtelijke korte termijn problemen, mag de leverancier het doel van de lange termijn planning niet uit het oog verliezen. Op korte termijn is er de neiging om leveringen uit te stellen naar de volgende periode. Hierdoor raakt de planning van de opvolgende korte termijn in de war, wat een kettingreactie veroorzaakt voor alle andere opkomende periodes. Beslissingen omtrent korte termijn periodes moeten dus rekening houden met het effect op de algemene lange termijn. Zo kan het soms voordeliger zijn om klanten vroegtijdig te beleveren met een voertuig dat anders niet volledig vol geladen is, in plaats van de levering uit te stellen naar de volgende periode. Dit leidt mogelijks tot hogere transportkosten op lange termijn, maar het risico op een *stockout* vermindert (Andersson et al., 2010; A. Campbell et al., 1998; A. M. Campbell & Savelsbergh, 2004; Coelho et al., 2014).

Aan welke klanten de leverancier elke periode levert, is een afweging die zorgvuldig gemaakt wordt. De uiteindelijke beslissing wordt gevormd door een stappenproces te volgen (A. M. Campbell & Savelsbergh, 2004; Cordeau et al., 2015).

- In de eerste stap worden leveringen naar klanten ingedeeld voor de komende dagen in de korte planningsperiode om zo een gepast leveringsschema te formuleren.
- De tweede stap focust zich dan op het opstellen van een efficiënt routeschema voor de levering aan de klanten.
- Een eventuele derde stap kan dienen om de bestaande oplossing te optimaliseren



*Figuur 10: Stappenplan voor het oplossen van een VRP*

In de volgende paragrafen worden de drie stappen om een VRP op te lossen meer in detail besproken.

### **Stap 1 Planning:**

Het leveringsschema specificeert aan welke klanten in elke periode geleverd zal worden, alsook de hoeveelheid goederen. De opstelling van het leveringsschema is afhankelijk van de nabijheid tussen de klanten onderling, hun onderlinge voorraadcapaciteit en hun productverbruik. Klanten die nabij elkaar liggen en een overeenkomstige voorraadcapaciteit en -verbruik hebben, worden in een cluster geplaatst. Het is voor de leverancier op lange termijn voordelig om klanten te combineren die in dezelfde cluster zitten.

### **Stap 2 Routing:**

Na het bepalen hoeveel er aan elke klant geleverd zal worden en welke klanten gecombineerd worden per voertuig, zullen eerst de routes van de voertuigen worden uitgestippeld. Het routeschema zal de volgorde van vertrek met de bijhorende vertrektijden bepalen voor alle beschikbare voertuigen, rekening houdende met de tijdsvensters beschikbaar voor de klanten. Bij het opstellen van het routeschema moet er ook aandacht worden besteed aan de nodige grootte van de voertuigvloot en bijhorende vaste kosten van de voertuigen aldus (Raa & Dullaert, 2017) (Tabel 5). De leverancier zal de routes, die vertrekken vanuit het depot, naar de klanten telkens moeten toewijzen aan de gepaste voertuigen, zodat het totale aantal vereiste voertuigen minimaal is. Het toewijzen van voertuigen aan vooraf bepaalde routes zorgt voor meer flexibiliteit voor de leverancier.

### **Stap 3 Optimalisering:**

Deze stap dient als een feedbackproces om de optimale oplossing verder bij te schaven. Nadat het routeplan is opgesteld kan de informatie ervan gebruikt worden om het leveringsschema te verbeteren waar nodig. Indien dit niet nodig blijkt, zal de oplossing na de tweede stap al volstaan.

Na het beschrijven van het stappenplan om een VRP op te lossen, wordt er nu een blik geworpen op de verdere vooruitgang van VRP modellen naar de toekomst toe.

### 3.5 Verdere vooruitgang

In dit onderdeel van de masterproef worden uitbreidingen besproken die VRP modellen naar de toekomst toe realistischer en duurzamer maken. De volgende paragraaf zal verder ingaan op het toevoegen van de locatiebeslissingen van depots. Verder zal er aandacht worden besteed aan duurzame uitbreidingen die toegevoegd kunnen worden aan een VRP model. Deze uitbreidingen zijn gebaseerd op informatie van de paper (Malladi & Sowlati, 2018).

#### 3.5.1 Locatie van depots

Huidige VRP modellen houden rekening met de operationele beslissingen (rittenplanning) op korte termijn en de tactische beslissingen (voorraadbeheer) op middellange termijn. Naar de toekomst toe zouden VRP modellen ook de **strategische** beslissingen voor de lange termijn moeten integreren. Deze beslissingen zijn meestal geldig voor een aantal jaren en kunnen dus niet snel veranderd worden. Een dergelijke strategische beslissing die aangeraden wordt om mee op te nemen in het distributiemodel, is de beslissing over het aantal nodige depots met de bijhorende locaties. Door deze beslissing mee op te nemen worden, naast de vereiste voorraadniveaus en de routes van de voertuigen, ook het aantal nodige depots bepaald. Dit om het verloop rond de *supply chain* nog efficiënter te maken.

De integratie van de operationele, tactische en strategische beslissingen in één model zal nog betere oplossingen opleveren voor het VRP omdat het nauwer aansluit met de realiteit. Zo zullen de vaste kosten van de opbouw en locatie van een depot opgenomen worden waardoor het model nog realistischer wordt. Het integreren van de locatiebeslissingen zorgt niet voor grote problemen aangezien dat een bestaande klant gezien kan worden als een mogelijke kandidaat locatie van een depot (Hiassat et al., 2017). Het model van (Hiassat et al.) (Tabel 5) is een voorbeeld van een locatie VRP voor de distributie van één product. De resultaten van het model tonen aan dat er inderdaad kosten bespaard kunnen worden indien de beslissing van het aantal nodige depots mee wordt opgenomen.

Een verdere uitbreiding voor dit model kan de aanbidding van meerdere producten zijn. Naast de locaties van de depots spelen ook andere factoren een rol. Deze andere factoren hebben te maken met de duurzaamheid van het VRP model en zullen in de volgende paragraaf uitgelegd worden.



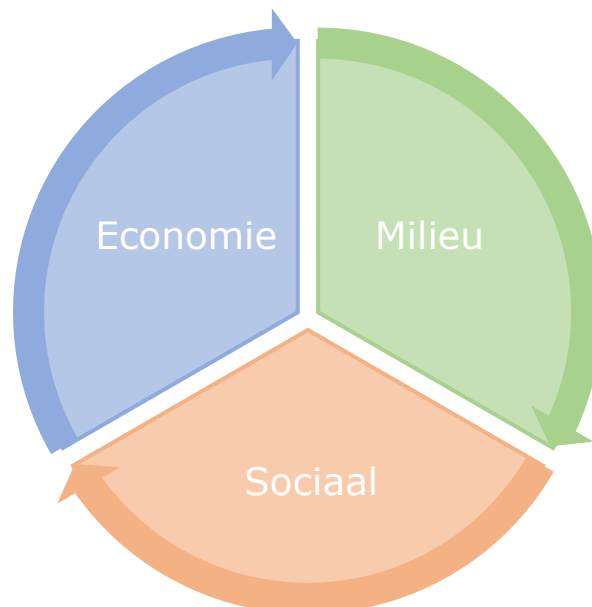
### 3.5.2 Duurzaamheidsfactoren

Tegenwoordig wordt er door de toenemende aandacht voor de kwaliteit van het milieu, sociale gelijkheid en economische vitaliteit, meer en meer aandacht besteed aan duurzame ontwikkelingen van productie- en distributiesystemen. Duurzame ontwikkeling<sup>13</sup> integreert namelijk het belang voor milieu samen met de sociale en economische factoren van ontwikkelingsgroei (Björklund et al., 2017).

Uit het beheren van een *supply chain* blijkt dat er een (on)rechtstreekse impact is op alle drie factoren.

- De **economische factor** is vanzelfsprekend aangezien alle logistieke partijen binnen de *supply chain* hun kosten willen minimaliseren en hun winsten willen maximaliseren.
- De **milieufactor** is afhankelijk van de hoeveelheid CO<sub>2</sub> die wordt uitgestoten. Het doel is daar namelijk om de totale uitstoot van CO<sub>2</sub> emissies te verlagen.
- De doelen omtrent de **sociale factor** zijn minder vanzelfsprekend omdat deze niet gemakkelijk kwantificeerbaar zijn. Het gaat hier vaak over de tevredenheid van klanten of over het gezondheidsrisico waaraan ze worden blootgesteld. Bijkomende toevoegingen aan de sociale doelstellingen zouden het vermijden van opstoppingen of files kunnen zijn en de creatie van jobs bij de opstelling van een distributiesysteem.

De milieu- en sociale factoren worden tegenwoordig echter vaak naar de achtergrond geschoven, waardoor er voor de integratie van deze twee factoren in een VRP nog ruimte voor verbetering is. De *mindset* voor de toekomstige logistieke ontwikkelingen moet dus naast het economische winstbejag rekening houden met een positieve milieubijdrage en met de sociale aspecten van de maatschappij (Malladi & Sowlati, 2018).



Figuur 11: De drie factoren voor duurzame ontwikkeling

<sup>13</sup> Definitie duurzame ontwikkeling: Ontwikkeling die aan de noden van het heden voldoet zonder het vermogen aan te tasten om aan de noden te voldoen van de toekomstige generaties (WCED, 1987).

Het is dan ook van belang om bij het oplossen van VRP naast de economische factor ook de milieu- en sociale factoren mee op te nemen in het model. Hier is nu echter nog een groot gebrek aan omdat de studies naar VRP met milieu- en/of sociale factoren inbegrepen, vooral de sociale factoren, nog zeer pril zijn.

Modellen voor VRP op te lossen moeten dus een **multi-objectief** doel dienen. Het model dient een oplossing te zoeken door gelijktijdig de economische, milieu en sociale kosten te minimaliseren om de totale kost tot een minimum te beperken. Dit is echter niet eenvoudig omdat bij een daling van de economische logistieke kosten, de kosten omtrent de milieu emissies neigen te stijgen. Het gebruik van een heterogene voertuigenvloot waarbij de voertuigen verschillen in type en welk soort brandstof ze gebruiken, zou voor een vermindering van beide kosten kunnen zorgen. De paper van (Malladi & Sowlati) biedt voor VRP modellen enkele verbeterpunten aan om in de toekomst rekening mee te houden.

Een eerste verbeterpunt is om een **beleid voor de afvalverwerking** van producten binnen de *supply chain* mee op te nemen in het VRP model. Het beleid omtrent de afvalverwerking moet zich buigen over de producten die einde levensduur zijn, de producten die worden teruggestuurd door de klant en over de producten die beperkt houdbaar zijn. Deze producten worden tegenwoordig enkel opgehaald door de leverancier om dan op een centrale verzamelplek te belanden waar er geen verdere stappen meer mee gebeuren. Het enige waaraan gedacht wordt is het minimaliseren van de logistieke (economische) kost die aan het transport van het afval verbonden is.

Door de invoering van een correct afvalverwerkingsbeleid zal de leverancier een stevige positieve bijdrage kunnen leveren aan het milieu. Het beleid zou regels moeten bevatten over wat er concreet met het afval moet gebeuren. Dit kan variëren van het verwerken of recycleren van afval om een deel van hun waarde te herwinnen tot het weggooien van producten die geen waarde meer hebben.

Ten tweede zouden VRP modellen rekening moeten houden met **producten die end-of-life management** nodig hebben. Voordat producten als afval beschouwd worden, kunnen sommige producten aan de hand van enkele herstellingen terug waardevol worden. Leveranciers zullen daarom naast de uitgaande stroom van de te leveren producten aan de klant, tevens te maken krijgen met een inkomende stroom van producten die werk vereisen. Het is bijgevolg voor de leverancier eenvoudiger om de inkomende stroom van producten te beschouwen alsof het andere producten zijn dan degene die uitstromen naar de klanten toe, zodat er sprake is van een multi-product model. Voorts zou ook de beschikbaarheid van een heterogene voertuigenvloot handiger zijn. Door over verschillende voertuigtypes te beschikken, kan de leverancier specifieke voertuigen inschakelen voor de uitgaande- en inkomende productstromen. Producten die na een herstelling geen waarde zouden opleveren kunnen simpelweg verwerkt worden via het opgestelde afvalbeleid.

Een derde punt van aandacht is de opname van een **emissie controle beleid** in het VRP model om de uitstoot van CO<sub>2</sub> enigszins in te perken. Dit kan gebeuren door de emissie gerelateerde kosten van alle activiteiten rechtstreeks in het model op te nemen. Want niet enkel het transport van producten zorgt voor emissie uitstoot, het voorraadbeheer en het (uit)laden van producten dragen ook bij aan de uitstoot van CO<sub>2</sub>.

Naast de opname van de kosten in het model, moet de totale toegelaten emissie hoeveelheid worden gelimiteerd. Dit kan gebeuren door koolstofemissie limieten toe te kennen voor alle spelers op de markt aan de hand van certificaten, die onderling geruild kunnen worden. Voorts kunnen leveranciers opteren om het meest geschikte type brandstof te gebruiken, aangezien het type brandstof ook van invloed is op de hoeveelheid emissies die worden uitgestoten.

Ten vierde zou een VRP dat specifiek **producten** bevat **die beperkt houdbaar zijn**, een variabele moeten opnemen die verwijst naar de onzekerheid in de vraag van klanten. Omdat er geen enkel model bestaat dat de toekomstige klantvraag feilloos kan voorspellen moet er ook hier een keurig beleidsplan worden aangemaakt voor de afvalverwerking van de producten. Producten die beperkt houdbaar zijn nemen indien ze niet verkocht geraken onnodige plaats in bij zowel het transport als bij de opslag van voorraden. Verspilling van producten leidt tot hogere kosten voor de leverancier bij het transport, voorraadbeheer en onrechtstreeks bij de beperking van de emissies.

Na het afronden van dit hoofdstuk over VRP, zal deze masterproef overgaan naar het praktijkgedeelte.

## 4 Praktijkonderzoek

Het praktijkgedeelte van deze masterproef start met een bespreking van het algoritmische simulatiemodel waarbij verschillende scenario's, met of zonder SCC, voor het stedelijke bevoorradingsproces mogelijk zijn. Vervolgens komen de opzetten van alle experimenten, met de bijhorende onderzoeksdoelen aan bod. Daaropvolgend worden de resultaten van de experimenten met elkaar vergeleken om de eventuele voor- en nadelen tussen de scenario's aan te tonen. Ten slotte zal er een conclusie worden gegeven omtrent de vooropgestelde onderzoeksdoelen om het praktijkgedeelte af te sluiten.

### 4.1 Introductie simulatiemodel

Gedurende de voorgaande hoofdstukken van deze masterproef zijn de twee begrippen SCC en VRP zorgvuldig aan bod gekomen. Vanuit de literatuurstudie is het voorts duidelijk geworden dat deze begrippen nauw met elkaar in verband staan. Een SCC kan namelijk dienen als een centraal depot bij het zoeken naar een oplossing voor een VRP. Het implementeren van een SCC in een *supply chain* bij een VRP kan op die manier allerlei voordelen opleveren en tevens een kostenbesparende rol vervullen. Het is daarom dat in dit praktijkgedeelte aan de hand van een algoritmisch simulatiemodel experimenten worden uitgevoerd om na te gaan of een SCC in werkelijkheid wel degelijk een slimme oplossing is.

De uitvoering van de experimenten, aan de hand van het simulatiemodel, baseren zich op de paper van een doctoraatsstudent aan de UHasselt genaamd Titi Iswari (2022). Het VRP model van (Iswari et al., 2022) is ook toegevoegd aan de voorgaande classificatietabel (zie Tabel 5). Het model staat toe dat er meerdere leveranciers, met elk hun eigen product, aan meerdere handelaars kunnen leveren. Dit zorgt voor een *many-to-many* probleemstructuur, wat het model realistischer maakt dan alle voorgaande modellen in Tabel 5. Bij het VRP model zijn er drie scenario's mogelijk om experimenten op uit te voeren.

1. Het eerste scenario stelt het stedelijke bevoorradingsprobleem voor **zonder** de aanwezigheid van een **SCC**. Dit betekent dat de **leveranciers** elk **afzonderlijk hun klanten**, aldus hier de handelaars, in het stadscentrum zullen **beleveren**.
2. Bij het tweede scenario is er **wel** een **SCC aanwezig** dat kan dienen als een centraal depot, maar in het SCC is er nog **geen** sprake van een **volledige integratie** van het **voorraadbeheer** en de **rittenplanningen**. De leveranciers leveren nu **alle bestellingen** van al hun klanten **eerst** aan het **SCC**, zodat alle bestellingen op de centrale plek samenkomen. Vanuit het SCC zal het **transport** van het **SCC naar de handelaars** nu **gezamenlijk georganiseerd** worden om de correcte bestellingen aan de juiste handelaar af te leveren.
3. Het derde scenario is een uitbreiding op het tweede scenario waarbij het **voorraadbeheer** en de **rittenplanning** van het **SCC wel volledig geïntegreerd** zijn.

De experimenten die in deze masterproef worden uitgevoerd, hebben betrekking op **twee distinctieve onderzoeksdoelen**. Enerzijds wordt de **impact** van de **afstand** tussen de verschillende leveranciers en de handelaars in de binnenstad geanalyseerd. Anderzijds worden er experimenten gedaan met betrekking tot de **variabiliteit** in de **dagelijkse vraaghoeveelheid** naar goederen van de klanten aan de handelaars.

De experimenten van dit praktijkonderzoek zullen betrekking hebben op verschillende situaties voor scenario's één en twee. De resultaten van de situaties zullen vergeleken worden binnen éénzelfde scenario, maar zullen ook vergeleken worden over de twee scenario's heen. Experimenten uitvoeren voor scenario drie is jammer genoeg nog niet mogelijk tijdens deze masterproef. Het derde scenario is immers nog niet gefinaliseerd, waardoor de resultaten van het scenario mogelijk een vertekend beeld opleveren. Ondanks dat het derde scenario nog niet bruikbaar is om op te experimenteren, zal de resultatenvergelijking tussen scenario één (zonder SCC) en scenario twee (met SCC) een waardevolle bijdrage leveren bij het formuleren van een antwoord op de onderzoeksvraag.

Voor het uitvoeren van de experimenten van de twee gekozen scenario's, wordt gebruik gemaakt van het programma *visual studio*. Het *visual studio* programma staat een gebruiker, op basis van een geschreven code, toe om allerlei gewenste parameters te creëren en deze vervolgens waarden toe te kennen. Het toekennen van waarden aan deze parameters gebeurt via het inlezen van opgestelde tekstbestanden die inputwaarden bevatten voor de parameters, *instances* genaamd. Een voorbeeld van een inputtekstbestand om waarden voor de parameters toe te wijzen, is terug te vinden in Bijlage 2. Voor een volledige verklaring van het inputtekstbestand wordt de lezer doorverwezen naar het volgende onderdeel (zie onderdeel 4.2).

## 4.2 Opzet experimenten scenario's 1 & 2

### 4.2.1 Algemene parameters

Vooraleer de *instances*, die specifieke inputwaarden bevatten, voor de verschillende situaties aangemaakt kunnen worden, moeten er eerst waarden worden toegekend aan enkele algemene parameters. Deze waarden voor de algemene parameters blijven over alle *instances* bij beide scenario's gelijk (zie Tabel 6 & Bijlage 2). In totaal worden er 80 *instances* gebruikt, over acht verschillende situaties (tien *instances* per situatie), om alle experimenten voor de twee scenario's te kunnen uitvoeren. Deze 80 *instances* zijn 50-50 verdeeld over scenario één en scenario twee. Elk scenario heeft dus 40 *instances* die verder worden ingedeeld per situatie.

- De *instances* bevatten telkens **twintig handelaars** en **vijf leveranciers**.
- De *instances* lopen altijd voor een **periode** van **veertien dagen**.
- Alle **leveranciers** beschikken over **hetzelfde aantal voertuigen**.
- De *instances* van **scenario één** hebben enkel **bestelwagens** ter beschikking, terwijl de *instances* van **scenario twee** **bestelwagens** en **fietsen** ter beschikking hebben.
- De **bestelwagens** hebben een capaciteit van **2000 goederen** en de **fietsen** een capaciteit van **600 goederen**.

- De *instances* maken gebruik van **replenishment methode twee**<sup>14</sup>.
- De *instances* hebben voor **alle andere parameters** allemaal **dezelfde basisinstellingen** als in Iswari et al. (2022). Deze parameters zijn onder andere: de verschillende (order)kosten per leverancier, de snelheid van de voertuigen, de tijdsvensters, de service tijden, de maximum voorraad per handelaar en de voorraadkosten per product.

De keuze voor deze specifieke waarden van de algemene parameters is gebaseerd op het feit dat deze waarden nauw aansluiten bij realistische waarden. Dit zorgt ervoor dat de opkomende experimenten van dit praktijkonderzoek aanneembare en bruikbare resultaten opleveren. Zo werken de vijf leveranciers elk afzonderlijk acht uur per dag gedurende de periode van veertien dagen. Iedere dag moeten de individuele leveranciers aan de noden van hun respectievelijke klantenbestand van twintig handelaars voldoen. Indien een leverancier een bepaalde klant moet bevoorraden, dan zal de klant worden opgenomen in het leveringsschema. Per klant wordt er in het leveringsschema een tijdsvenster voorzien van één uur, waarbij er tien minuten van dat tijdsvenster nodig zullen zijn om de klant te bevoorraden. De snelheid van de bestelwagens is zeventien km/h en de snelheid van de fietsen is twaalf km/h. Om de waarden voor de resterende algemene parameters te kennen, wordt de lezer doorverwezen naar een ingevulde *instance* in de bijlagen (zie Bijlage 3).

Algemene parameters	Waarden
Aantal iteraties	700
Aantal handelaars	20
Aantal leveranciers	5
Replenishment methode	2
Periode	14 dagen
Capaciteit bestelwagens	2000 goederen
Capaciteit fietsen	600 goederen
Snelheid bestelwagens	17 km/h
Snelheid fietsen	12 km/h
Operationele kost bestelwagens	0,83 euro per km
Operationele kost fietsen	0,1 euro per km
Order kost	10 euro per bestelling
Bestuurderskost	0,3 euro per minuut
Werkuren per dag	8 uur
Service tijd per handelaar	10 minuten

Tabel 6: Waarden voor de algemene parameters van alle *instances*

Naast de algemene parameters die over alle *instances* heen hetzelfde blijven, zijn er ook enkele specifieke parameters waarvoor de inputwaarden verschillen per situatie afhankelijk van het onderzoeksdoel (zie onderdelen 4.2.2 & 4.2.3). De parameters waarvan de waarden per situatie zullen verschillen zijn de locaties van de leveranciers, de locaties van de handelaars en de gevraagde

<sup>14</sup> Bij *replenishment methode twee* wordt er veronderstelt dat de vraag die de handelaars van hun klanten binnenkrijgen gekend is en dat alle handelaars gebruik maken van hetzelfde voorraadbeleid om bestellingen te plaatsen bij hun leveranciers, namelijk ze bestellen om de twee dagen de hoeveelheid die ze in de komende twee dagen nodig hebben.

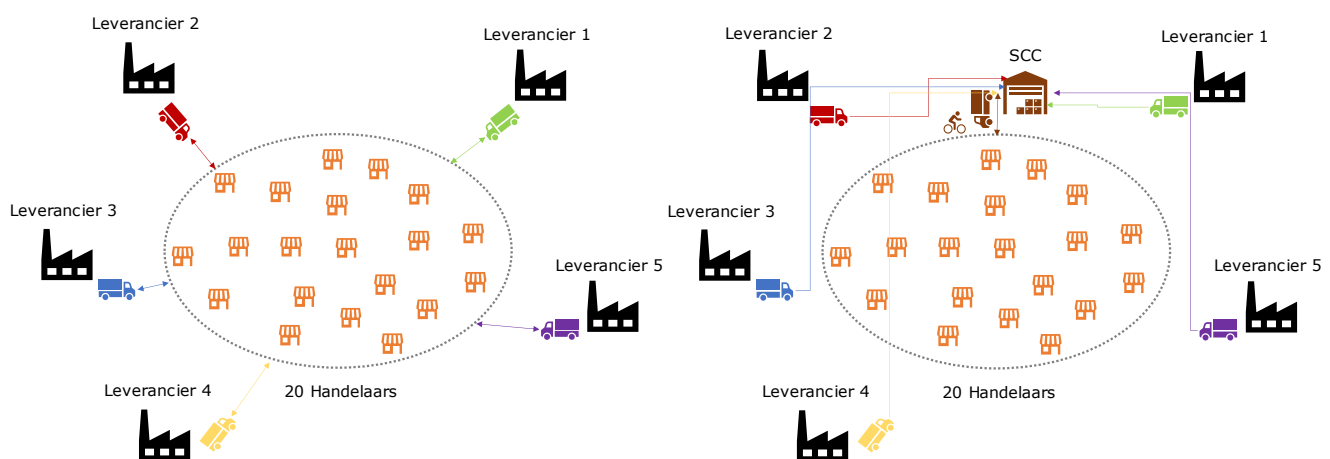
dagelijkse hoeveelheid goederen waarmee de handelaars geconfronteerd worden door hun klanten. Deze vraag bepaalt dan voorts de bestellingen voor de gevraagde dagelijkse hoeveelheid goederen van de handelaars aan de leveranciers. De vraag van de klanten aan de handelaars bepaalt dus onrechtstreeks de dagelijkse gevraagde hoeveelheid goederen van de handelaars aan hun leveranciers.

#### 4.2.2 Parameters onderzoeksdoel afstand

Zoals reeds aangehaald in de vorige paragrafen zullen sommige parameters situatie specifiek worden ingegeven. Voor het onderzoeksdoel omtrent de afstand tussen de handelaars in de binnenstad en de leveranciers betekent dit dat de waarden van de locaties van de actoren kunnen verschillen, afhankelijk van de situatie. Om de impact van de afstandsfactor te kunnen onderzoeken, zullen er twee situaties per scenario worden gecreëerd (vier in totaal). Zo zijn er per scenario (met of zonder SCC) telkens een situatie waarbij de leveranciers nabij de binnenstad gelegen zijn (**close**) en een situatie waarbij de leveranciers ver van de binnenstad gelegen zijn (**far**).

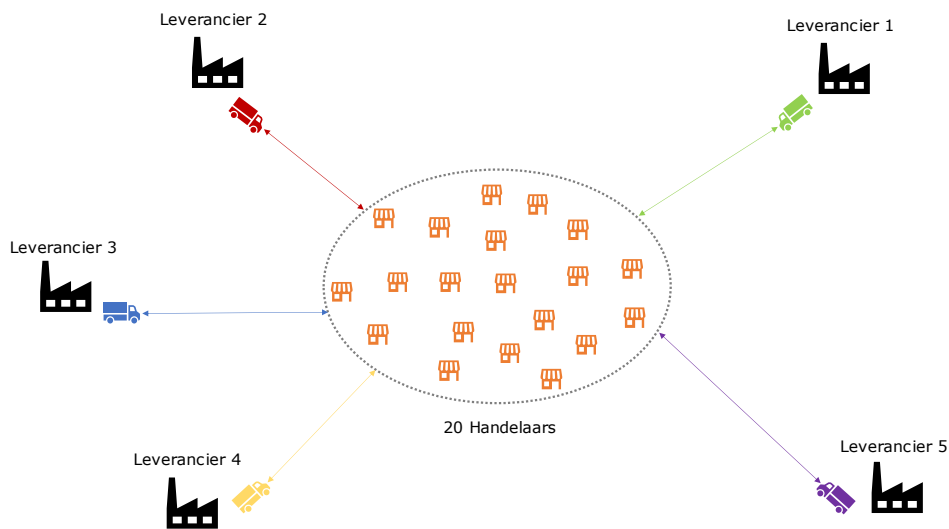
Vanuit de resultaten over de experimenten heen wordt er verwacht dat het voordeliger zal zijn om gebruik te maken van een collectief SCC wanneer de leveranciers ver van de binnenstad gelegen zijn (**far**) in plaats van dichtbij (**close**). De waarden voor de dagelijkse gevraagde hoeveelheid van de handelaars aan de leveranciers blijven echter over alle *instances*, zowel voor de *close* als voor de *far* situatie, van beide scenario's wel gelijk. Bovendien, om ervoor te zorgen dat de resultaten van de experimenten enigszins representatief zijn voor de realiteit, zal elke situatie bestaan uit **tien** licht verschillende *instances*. Dit levert volgende vier situaties op.

- **Scenario één (zonder SCC): situatie close** (zie Figuur 12)
- **Scenario twee (met SCC): situatie close** (zie Figuur 13)
- **Scenario één (zonder SCC): situatie far** (zie Figuur 14)
- **Scenario twee (met SCC): situatie far** (zie Figuur 15)

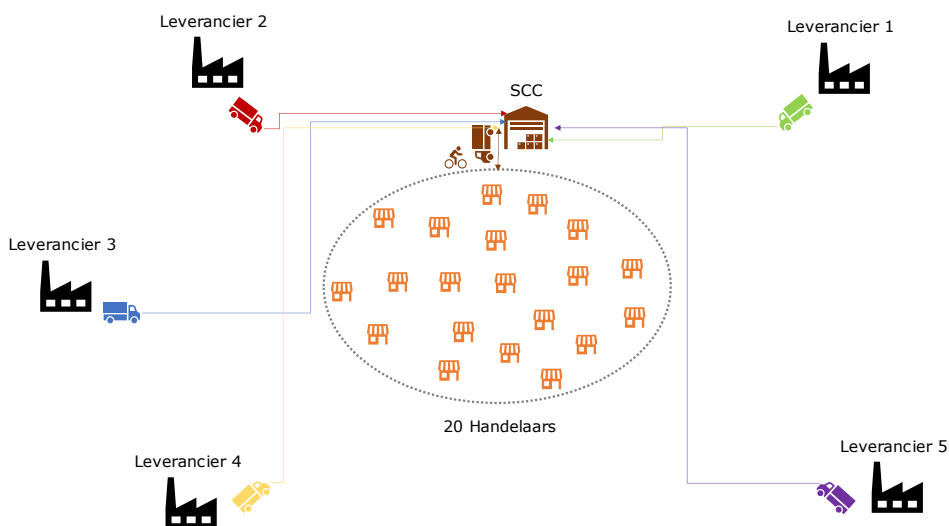


Figuur 12: Situatieschets scenario 1 close

Figuur 13: Situatieschets scenario 2 close



*Figuur 14: Situatieschets scenario 1 far*



*Figuur 15: Situatieschets scenario 2 far*

De tien *instances* van **scenario één, situatie close** worden als eerste aangemaakt. De waarden van deze tien *instances* zullen namelijk als referentie dienen bij *instances* van andere situaties. Hierbij krijgen de vijf leveranciers elk hun eigen locatie toegewezen (zie Tabel 7) waarbij de gemiddelde afstand van een leverancier tot aan zijn meest nabije klant 4973,21 meter bedraagt (zie Tabel 9). De locaties van de twintig handelaars bevinden zich op hun beurt allemaal verspreid over het gebied afgebakend door de stadsrand. Dit afgebakende gebied, aldus de binnenstad komt op de voorgaande figuren overeen met de grijze ovaal rondom de twintig handelaars. De grenzen van de stadsranden lopen over een afstand van tien kilometer in beide richtingen, namelijk van het X-coördinaat 10 000 meter tot 20 000 meter en het Y-coördinaat 10 000 meter tot 20 000 meter. De locaties van zowel de vijf leveranciers als de twintig handelaars zullen wel lichtjes rond de



basiswaarden variëren over de tien *instances* heen, om de representativiteit van de experimenten te bewaken. **Scenario twee** heeft voor de **situatie close** compleet dezelfde inputwaarden als scenario één. Enkel de locatie van het SCC wordt nog aan de *instances* toegevoegd. Deze locatie ligt nabij de stadsrand, maximaal op 1000 meter ervan, en zal tevens ook lichtjes variëren over de tien *instances*.

Bij de tien *instances* van **scenario één, situatie far** zullen enkel de locaties van de vijf leveranciers verschillen ten opzichte van de situatie *close* (zie Tabel 8). De gemiddelde afstand van een leverancier tot aan zijn meest nabije klant bedraagt nu 14 833,48 meter (zie Tabel 9). Dit is een **verdrievoudiging** van de gemiddelde afstand ten opzichte van de **close** situatie. De locaties zullen ook hier lichtjes variëren over de *instances* heen. Voor de rest van de inputwaarden nemen de *instances* louter de waarden van de overeenkomstige *instances* van de *close* situaties over. Dit gebeurt om de concrete impact van de afstandsfactor te bepalen. Het is daarom voldoende om enkel de locaties van de leveranciers te veranderen zodat de afstand tussen de leveranciers en de handelaars groter wordt. Ten slotte zullen de tien *instances* van **scenario twee, situatie far** de locaties van de leveranciers en de handelaars overnemen van de overeenkomstige *instances* van scenario één, situatie *far* en de locaties van de SCC worden overgenomen van scenario twee, situatie *close*.

Locaties leveranciers <i>close</i>	X-coördinaat (in meter)	Y-coördinaat (in meter)
Leverancier 1	20 000	25 000
Leverancier 2	12 000	24 000
Leverancier 3	8 000	15 000
Leverancier 4	8 000	7 000
Leverancier 5	24 000	13 000

Tabel 7: Locaties van de leveranciers voor de *close* situaties

Locaties leveranciers <i>far</i>	X-coördinaat (in meter)	Y-coördinaat (in meter)
Leverancier 1	28 000	34 000
Leverancier 2	12 000	36 500
Leverancier 3	1 500	22 500
Leverancier 4	7 000	1 500
Leverancier 5	28 500	1 000

Tabel 8: Locaties van de leveranciers voor de *far* situaties

Afstand leverancier & meest nabije handelaar	<i>Close</i>	<i>Far</i>
Leverancier 1	5758,36	19173,50
Leverancier 2	5692,92	17573,70
Leverancier 3	2191,50	11722,90
Leverancier 4	6166,64	11640,60
Leverancier 5	5056,63	14056,70
<b>Gemiddelde</b>	<b>4973,21</b>	<b>14833,48</b>

Tabel 9: Gemiddelde afstand van de leveranciers tot hun meest nabije klant voor de twee scenario's

#### 4.2.3 Parameters onderzoeksdoel variabiliteit van de vraag

Bij het onderzoeksdoel omtrent de variabiliteit van de vraag zullen wederom sommige parameters situatie specifiek worden ingegeven. In tegenstelling tot het vorige onderzoeksdoel, zullen de opkomende *instances* geen verschillen vertonen bij de waarden van de locaties over de situaties heen. Bij de *instances* van deze situaties zal het draaien om de dagelijkse gevraagde hoeveelheid goederen waarmee de handelaars geconfronteerd worden door hun klanten. Wederom zullen er twee situaties per scenario worden gecreëerd (vier in totaal) om de impact van de variabiliteit omtrent de vraag te kunnen onderzoeken. Per scenario (met of zonder SCC) zullen er telkens twee situaties zijn. Enerzijds een situatie waarbij de gemiddelde dagelijkse gevraagde hoeveelheid goederen van de handelaars aan de afzonderlijke leverancier per periode gelijk is (**constant demand**). Anderzijds een situatie waarbij de dagelijkse gevraagde hoeveelheid goederen van de handelaars aan de afzonderlijke leverancier van dag tot dag verschilt, maar waarbij het gemiddelde van de dagelijkse vraaghoeveelheden over alle dagen heen wel overeenkomt met het gemiddelde per periode van de *constant demand* (**varying demand**). Vanuit de resultaten over de experimenten heen wordt er verwacht dat het voordeliger zal zijn om gebruik te maken van een collectief SCC wanneer de verwachte vraag varieert (**varying demand**) in plaats van constant te zijn (**constant demand**) over de dagen heen. Bovendien, om ervoor te zorgen dat de resultaten van de experimenten enigszins representatief zijn voor de realiteit, zal elke situatie bestaan uit **tien** licht verschillende *instances*. Dit levert volgende vier situaties op.

- **Scenario één (zonder SCC): situatie *varying demand***
- **Scenario twee (met SCC): situatie *varying demand***
- **Scenario één (zonder SCC): situatie *constant demand***
- **Scenario twee (met SCC): situatie *constant demand***

De tien *instances* van **scenario één, situatie *varying demand*** worden als eerste aangemaakt. De waarden van deze tien *instances* zullen namelijk als referentie dienen bij *instances* van andere situaties. Omdat het bij dit onderzoeksdoel niet draait om de afstand tussen de leveranciers en de handelaars, zullen de leveranciers vaste locaties krijgen die niet variëren over de *instances* heen (zie Tabel 10). Deze vaste locaties zijn tevens de gemiddelden van de *close* en *far* locaties (zie Tabellen 7 & 8). De lichtjes variërende locaties van de handelaars en van de SCC worden bovendien eenvoudigweg overgenomen van de overeenkomstige *close* situaties. De waarden die over de tien *instances* wel verschillen zijn die van de dagelijkse gevraagde hoeveelheid goederen van de handelaars aan de respectievelijke leverancier. Per periode zal elke handelaar dagelijks een willekeurige hoeveelheid goederen aanvragen aan elke leverancier. Deze willekeurige hoeveelheid goederen komt overeen met een getal tussen de nul en 50, gegenereerd door een Excel-functie. De Excel-functie: Aselecttussen(0;50) garandeert op deze manier een dynamische, deterministische vraag die nauw aansluit bij de realiteit. **Scenario twee, situatie *varying demand*** neemt exact dezelfde inputwaarden aan als bij scenario één.

Bij de tien *instances* van **scenario één, situatie constant demand** worden de waarden van alle locaties overeenkomstig overgenomen van scenario één, situatie *varying demand*. Het enige verschil met de *instances* van de situatie *varying demand* is dat hier per periode een vaste dagelijkse hoeveelheid goederen wordt gevraagd van de handelaars aan elke afzonderlijke leverancier. Het gemiddelde van de totale vaste dagelijkse hoeveelheid goederen per periode komt wel overeen met het gemiddelde van de willekeurige dagelijkse gevraagde hoeveelheid goederen per periode bij de situatie *varying demand*. Dus zowel bij de situatie *varying demand* als bij de situatie *constant demand* zullen alle handelaars per periode evenveel goederen vragen aan elke leverancier, maar de hoeveelheden aan goederen die de handelaars dagelijks ontvangen zullen verschillen. Dit gebeurt om de concrete impact te bepalen indien de dagelijkse gevraagde hoeveelheid goederen van een handelaar aan een leverancier afwijkt van het gemiddelde. Er worden hogere kosten verwacht bij de *varying* situaties dan bij de *constant* situaties voor beide scenario's. Bovendien wordt er verwacht dat het voordeliger zal zijn om gebruik te maken een SCC indien de dagelijkse gevraagde hoeveelheid goederen van dag tot dag afwijkt van het gemiddelde (*varying*). Ten slotte zullen de tien *instances* van **scenario twee, situatie constant demand** exact dezelfde inputwaarden aannemen als bij scenario één.

Locaties leveranciers demand	X-coördinaat (in meter)	Y-coördinaat (in meter)
Leverancier 1	24 000	29 500
Leverancier 2	12 000	30 250
Leverancier 3	4 750	18 750
Leverancier 4	7 500	4 250
Leverancier 5	26 250	7 000

Tabel 10: Locaties van de leveranciers voor de constant & varying demand situaties

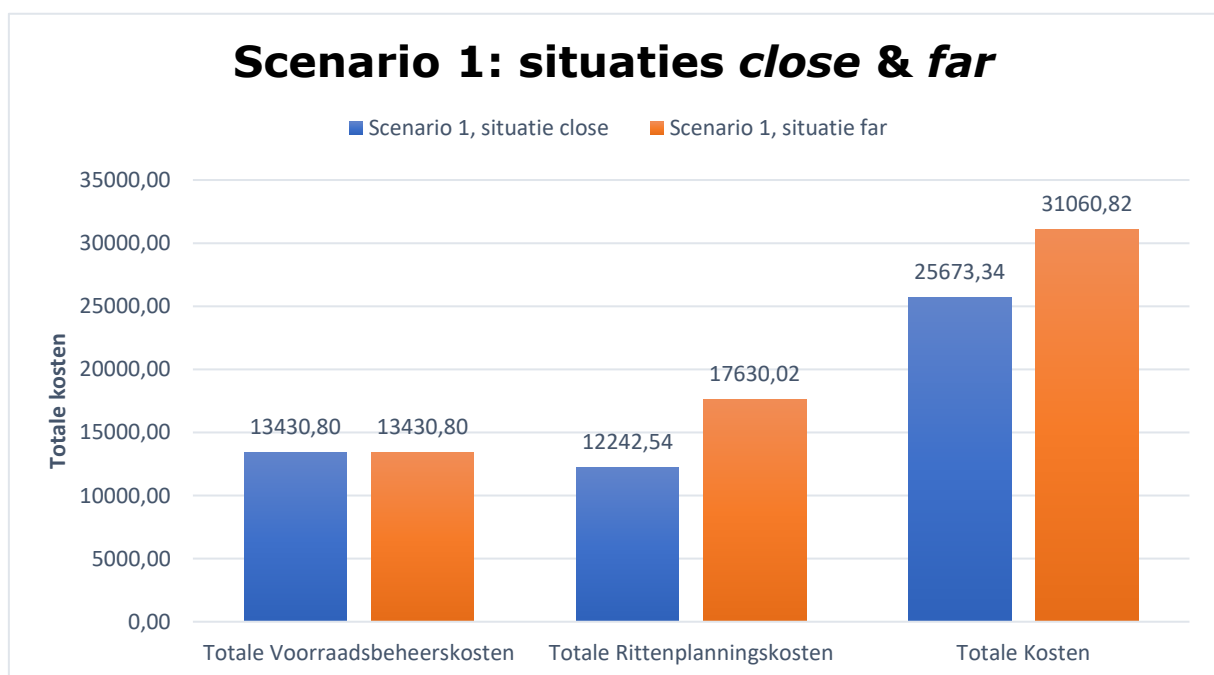
### 4.3 Resultatenbespreking

De resultatenbespreking start met de resultaten van het onderzoeksdoel **afstand**. Eerst zullen de resultaten van de *close* & *far* situaties vergeleken worden binnen elk scenario apart. Vervolgens worden de resultaten tussen de twee scenario's met elkaar vergeleken. Het tweede deel van de resultatenbespreking zal gaan over de resultaten van het onderzoeksdoel **variabiliteit van de vraag**. Wederom zal hier dezelfde structuur gelden om de resultaten te bespreken voor de situaties *constant demand* & *varying demand* als bij het eerste onderzoeksdoel. De resultaten die gebruikt zullen worden voor de analyses zijn telkens de **gemiddelde resultaten van de tien instances per situatie**.

#### 4.3.1 Resultaten onderzoeksdoel afstand

De analyse omtrent het onderzoeksdoel om de impact van de afstand tussen de verschillende leveranciers en de handelaars in de binnenstad te bepalen, begint bij **scenario één** (zonder SCC). De volledige resultaten van de **close** & **far** situaties van scenario één kunnen trouwens worden teruggevonden in Bijlagen 4 & 5. Bij de kostenanalyse van de resultaten zal er voornamelijk worden gekeken naar de rittenplanningskosten, omdat de kosten van het voorraadbeheer voor de twee situaties overall hetzelfde zijn. De reden dat de kosten van het voorraadbeheer gelijk zijn over de situaties heen, komt door de eerder gemaakte assumpties over de waarden van de algemene parameters. Deze waarden van de algemene parameters zijn namelijk hetzelfde voor beide situaties.

De rittenplanningskosten daarentegen verschillen wel tussen de twee situaties (zie Figuur 16). Dit komt omdat de locaties van de leveranciers verschillen waardoor de leveranciers van de **far** situatie gemiddeld **drie keer** zo ver moeten rijden om bij hun dichtstbijzijnde klant te geraken dan de leveranciers van de **close** situatie. Hierdoor leggen de leveranciers slechts 4433,06 kilometer af bij de **close** situatie (zie Bijlage 4), terwijl de leveranciers van de **far** situatie 7201,15 kilometer afleggen (zie Bijlage 5). Voorts zorgt een langere afstand ervoor dat de totale duurtijd langer is. De verschillen in de rittenplanningskosten worden dus veroorzaakt door de langere duurtijd en de grotere afstand die de leveranciers van de **far** situatie moeten afleggen. Omwille van dit kostenverschil zullen de totale kosten verschillen (zie Figuur 16). De impact van de afstandsfactor zorgt er logischerwijze voor dat de kosten voor de leveranciers stijgen indien de afstand met de binnenstad toeneemt. Ten slotte zijn de ladingsfactoren relatief laag (19 procent **close** en 18 procent **far**), maar wel ongeveer gelijk aan elkaar bij beide situaties.

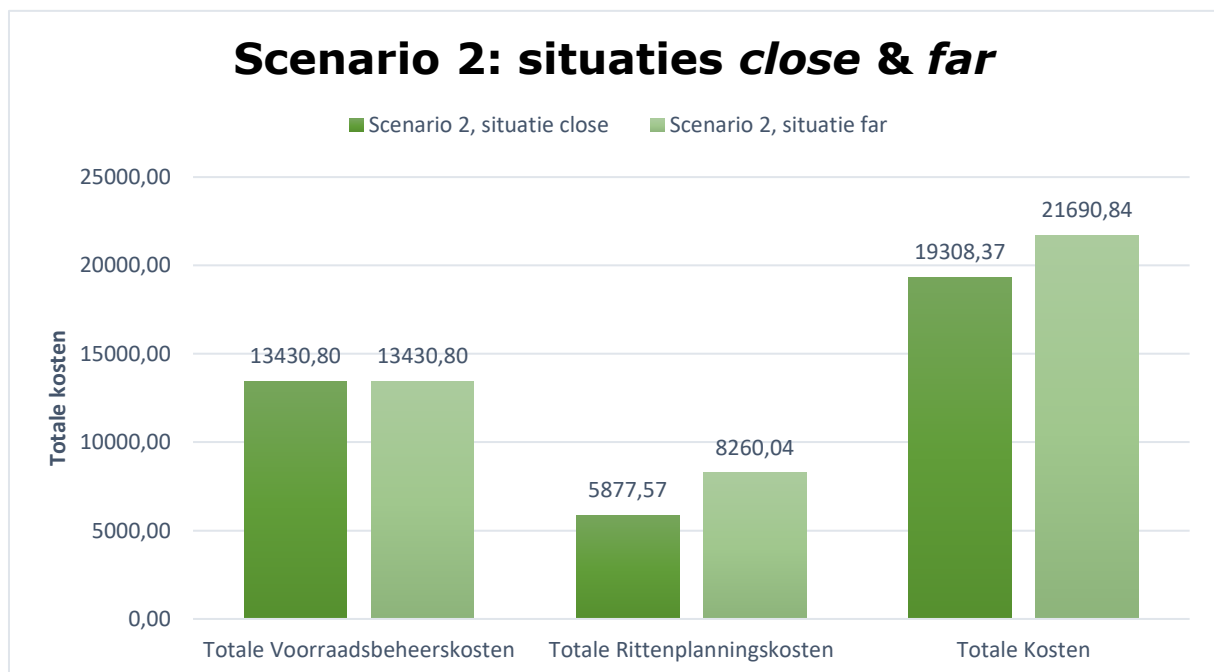


Figuur 16: Kostenanalyse scenario 1: situaties close & far

De kostenanalyse van het **tweede scenario** (met SCC) voor de situaties **close** & **far** is iets uitgebreider, omdat het bevoorradingsproces in twee delen is opgesplitst. Bij het eerste deel van het bevoorradingsproces leveren de leveranciers de goederen met bestelwagens af aan het SCC. Vervolgens in het tweede deel worden de goederen aan de handelaars geleverd door middel van andere bestelwagens en/of fietsen. Wederom wordt het kostenverschil veroorzaakt door het rittenplanningsonderdeel, omdat de kosten van het voorraadbeheer eveneens gelijk zijn bij de twee situaties (zie Figuur 17).

De rittenplanningskosten van het tweede deel zijn echter nagenoeg gelijk bij de twee situaties (zie Bijlagen 6 & 7). Dit komt omdat bij het tweede deel van het bevoorradingsproces alle goederen vanuit het SCC vertrekken ongeacht de originele locaties van de leveranciers aangezien deze nu niet meer van invloed zijn. Het verschil in de rittenplanningskosten tussen de twee situaties zit namelijk bij het eerste deel van het bevoorradingsproces. De verklaring hiervoor is dezelfde als bij scenario één, namelijk de grotere afstand die de leveranciers van bij de **far** situatie moeten afleggen tot aan het SCC (2724,49 kilometer) ten opzichte van de leveranciers van de **close** situatie (1465,04 kilometer). De langere afstanden zorgen wederom voor langere duurtijden. Hierdoor zullen de totale kosten verschillen (zie Figuur 17) omdat de impact van de afstandsfactor er logischerwijze voor zorgt dat de kosten voor de leveranciers stijgen indien de afstand met het SCC toeneemt.

De gemiddelde ladingsfactoren over de twee delen heen zijn immers wel gestegen ten opzichte van het eerste scenario. Dit komt omdat bij het tweede scenario er de mogelijkheid is om bestellingen van handelaars te consolideren in het SCC, om vervolgens de handelaars te beleveren met bestelwagens en/of fietsen. De mogelijkheid om naast bestelwagens ook fietsen te gebruiken, zorgt voor een stijging in efficiëntie om het bevoorradingsproces te voltooien. Ritten die weinig goederen bevatten, worden toegewezen aan fietsen zodat er minder bestelwagens de binnenstad hoeven te betreden. Zo is het aantal ingezette bestelwagens bij beide situaties telkens gelijk aan het aantal uitgevoerde ritten, terwijl sommige fietsen meerdere ritten uitvoeren. Bovenop het uitsparen op allerlei rittenplanning gerelateerde kosten (benzine, opstopingskosten, emissie uitstootkosten en geluidsoverlast kosten) zullen de fietsen niet alleen beter zijn voor het milieu, maar tevens de algemene ladingsfactoren verhogen. De ladingsfactoren zijn gelijk aan 49 procent bij beide situaties.

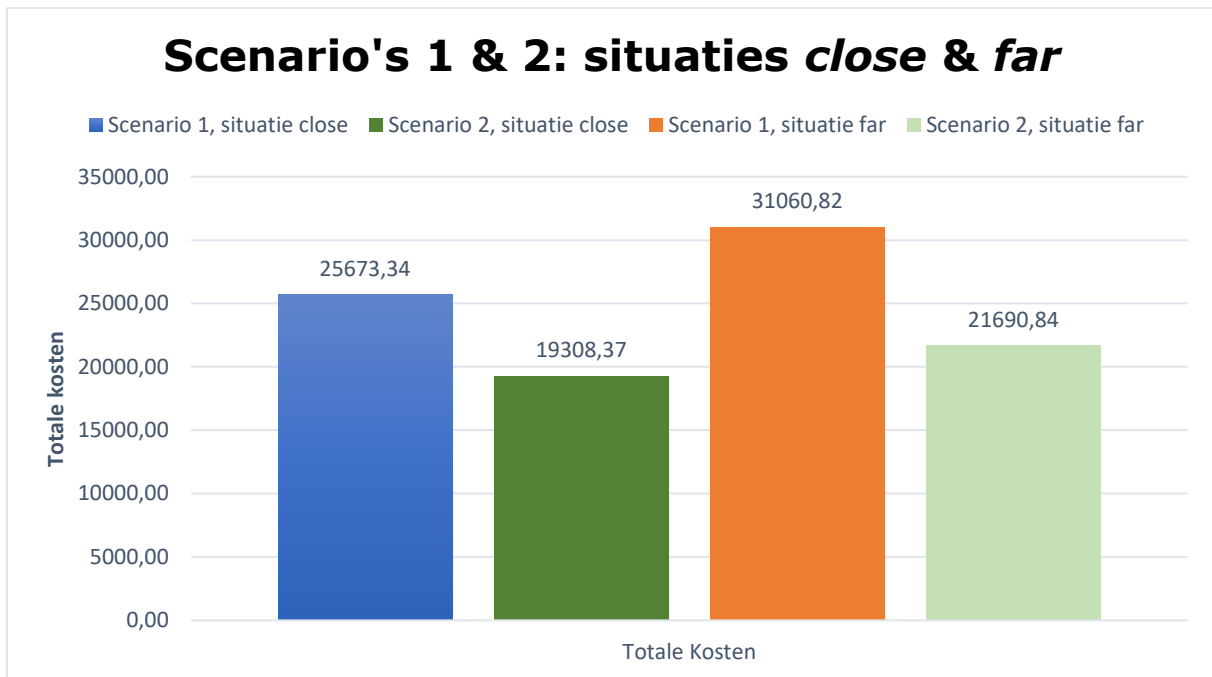


Figuur 17: Kostenanalyse scenario 2: situaties *close* & *far*

Het totale kostenverschil bij het tweede scenario (10,98 procent) is echter wel kleiner dan het totale kostenverschil bij het eerste scenario (17,34 procent). Dit valt te wijten aan de heterogene voertuigenvloot die inzetbaar is vanuit het SCC om de handelaars te bevoorraden bij scenario twee, waardoor de efficiëntie van het stedelijke bevoorradingsproces verhoogt. Dit wijst mogelijks al op de potentiële voordelen die een SCC bij implementatie in een *supply chain* met zich kan meebrengen.

De resultatenvergelijking van de **close** & **far** situaties over de twee scenario's heen (zie Figuur 18) bevestigt dit trouwens verder. Sterker nog, zo zijn de totale kosten van de **far** situatie bij het **tweede scenario** (21 690,84 euro) zelfs lager dan de totale kosten van de **close** situatie bij het **eerste scenario** (25 673,34 euro). Deze resultaten overstijgen de gemaakte verwachtingen, namelijk dat het enkel voordeliger zou zijn om gebruik te maken van een collectief SCC wanneer de leveranciers ver van de binnenstad gelegen zijn (**far**) in plaats van dichtbij (**close**). Uit de resultaten blijkt dat ongeacht de locatie van de leveranciers de toevoeging van een SCC bij beide situaties altijd zal leiden tot lagere totale kosten voor de betrokken partijen van de *supply chain*. De **close** situatie van het **tweede scenario** heeft bijgevolg dan ook de laagste totale kosten van alle situaties.

Ten slotte zorgt de toevoeging van een SCC aan de *supply chain* voor een hele reeks voordelen. De gemiddelde ladingsfactoren van de situaties van het **tweede scenario** (met SCC) liggen meer dan **2,5 keer hoger** dan die van de situaties van het **eerste scenario** (zonder SCC). Dankzij de hogere ladingsfactoren in combinatie met de beschikbare heterogene voertuigenvloot, worden er veel kilometers en tijd bespaard. De besparingen op het aantal afgelegde kilometers en tijd, dankzij het SCC, leiden tot lagere kosten voor de betrokken partijen van de *supply chain*. Bovenop de kostenbesparende rol die het SCC vervult, brengt het SCC naast de **economische** voordelen bovendien nog milieugebonden en sociale voordelen met zich mee. Zodanig worden er milieuvriendelijke fietsen naast de bestelwagens ingezet vanuit het SCC om alle handelaars te bevoorraden. Deze milieuvriendelijke fietsen, samen met de verhoogde laadfactoren bij het scenario met SCC, zorgen er tevens voor dat er minder voertuigen nodig zijn om alle handelaars te kunnen bevoorraden. Omdat er minder voertuigen nodig zijn worden er minder emissies uitgestoten (**milieuvoordeel**) waardoor de emissie gerelateerde kosten dalen. Voorts dalen de geluidsoverlastkosten en zullen er minder opstoppingen in de binnenstad zijn (**sociale voordelen**).



*Figuur 18: Kostenanalyse scenario's 1 & 2: situaties close & far*

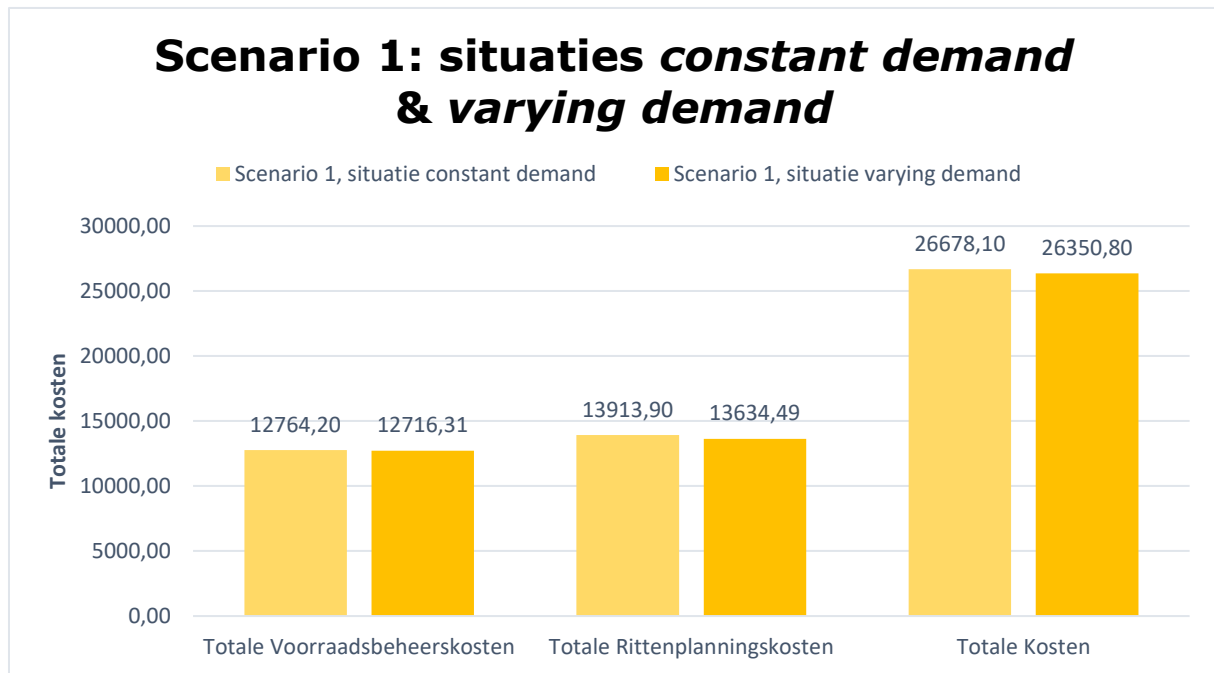
#### 4.3.2 Resultaten onderzoeksdoel variabiliteit van de vraag

De analyses aangaande de variabiliteit van de vraag starten bij **scenario één** (zonder SCC). Aangezien zowel de voorraadbeheerskosten als de rittenplanningskosten hier wel verschillen over de twee situaties heen, zal er naar ieders impact worden gekeken op de totale kosten. De volledige resultaten van de twee situaties (**constant demand** & **varying demand**) kunnen bovendien worden teruggevonden in Bijlagen 8 & 9. Vanuit de resultaten valt op dat zowel de kosten van het voorraadbeheer als de rittenplanningskosten over de twee situaties heen dicht bij elkaar liggen (zie Figuur 19). De kosten van beide onderdelen zijn voor de **varying demand** situatie wel telkens een tikkeltje lager dan bij de **constant demand** situatie. Dit zorgt ervoor dat de totale kosten op hun beurt lager liggen bij een variabele vraag, dan bij een constante vraag. De reden waarom de kosten van het voorraadbeheer en de rittenplanningskosten nagenoeg gelijk zijn aan elkaar bij beide situaties, is omdat er gemiddeld genomen over de periode heen evenveel goederen worden besteld door de handelaars aan de leveranciers. Daarbovenop hebben de leveranciers bij beide situaties dezelfde locaties, dus zullen de afgelegde afstanden vrijwel overeen moeten komen.

Er zijn echter toch **twee redenen** waarom er **lichte kostenverschillen** op te merken zijn bij de resultatenvergelijking bij de twee situaties. Een **eerste reden** waaraan het kostenverschil te wijten valt, is omdat er met afrondingen van de gemiddelde gevraagde hoeveelheid goederen per periode wordt gewerkt bij de *instances* van de **constant demand** situatie. Mogelijks zijn sommige afrondingen ongunstig waardoor de totale kosten bij de constante vraag hoger uitkomen. Een **tweede reden** die tevens kan voortvloeien uit de afrondingen, is dat de ladingsfactor van de bestelwagens bij de **varying demand** situatie sommige weken beter benut wordt. Zo kunnen de bestelwagens bij de variabele vraag op sommige dagen per toeval voordeliger ingezet worden waardoor er op die dag een bestelwagen minder nodig zal zijn. Bij de **constant demand** situatie

kunnen er geen bestelwagen(trips) worden uitgespaard, omdat de dagelijks gevraagde hoeveelheid goederen per periode dezelfde blijft.

Bovenop de lagere kosten geniet de **varying demand** situatie nog van lichtjes voordeligere resultaten (zie Bijlage 9) ten opzichte van de **constant demand** situatie (zie Bijlage 8). Zo is de ladingsfactor bij de **varying demand** situatie (18 procent) net iets beter dan die van de **constant demand** situatie (17 procent) en zijn er minder trips uitgevoerd. Dit minieme verschil is mogelijk een gevolg van de twee redenen waarom de kosten tussen de twee situaties verschillen.



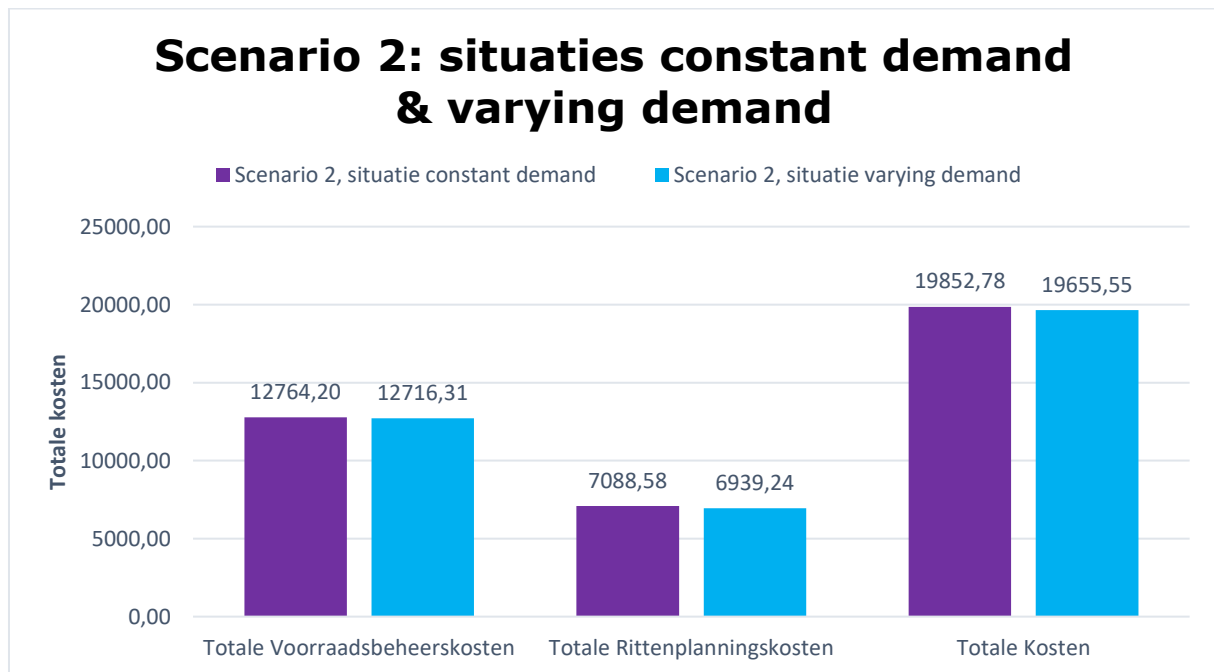
Figuur 19: Kostenanalyse scenario 1: situaties **constant demand** & **varying demand**

De kostenanalyse van het **tweede scenario** (met SCC) voor de situaties **constant demand** & **varying demand**, is iets uitgebreider maar wel gelijkaardig aan die van het eerste scenario. De volledige resultaten van de twee situaties (**constant demand** & **varying demand**) kunnen bovendien worden teruggevonden in Bijlagen 10 & 11.

Vanuit de resultaten valt op dat zowel de kosten van het voorraadbeheer als de rittenplanningskosten over de twee situaties heen dicht bij elkaar liggen (zie Figuur 20). De rittenplanningskosten van het eerste deel zijn echter zelfs gelijk bij de twee situaties (zie Bijlagen 10 & 11). Dit komt omdat bij het eerste deel van het bevoorradingsproces alle goederen door de vijf leveranciers naar het SCC worden gebracht vanuit hun respectievelijke locaties. Deze locaties blijven immers voor beide situaties gelijk waardoor de afstand van de leveranciers tot het SCC en de bijbehorende rittenplanningskosten gelijk zijn. De rittenplanningskosten bij het tweede deel van het stedelijke bevoorradingsproces samen met de voorraadbeheerskosten verschillen wel lichtjes. Het aantal ingezette bestelwagens bij beide situaties is opnieuw telkens gelijk aan het aantal uitgevoerde ritten, terwijl sommige fietsen meerdere ritten uitvoeren.



Zo zijn de kosten van beide onderdelen voor de **varying demand** situatie telkens een tikkeltje lager dan bij de **constant demand** situatie. Dit zorgt ervoor dat de totale kosten op hun beurt lager liggen bij een variabele vraag, dan bij een constante vraag. De twee redenen waarom de kosten verschillen zijn dezelfde als bij het eerste scenario. Ondanks dat de **varying demand** situatie enigszins van lagere totale kosten geniet (zie Bijlage 11) ten opzichte van de **constant demand** situatie (zie Bijlage 10), zijn de gemiddelde ladingsfactoren wel gelijk. De gemiddelde ladingsfactoren over de twee delen heen (47 procent bij beide situaties) zijn immers wel gestegen ten opzichte van het eerste scenario.



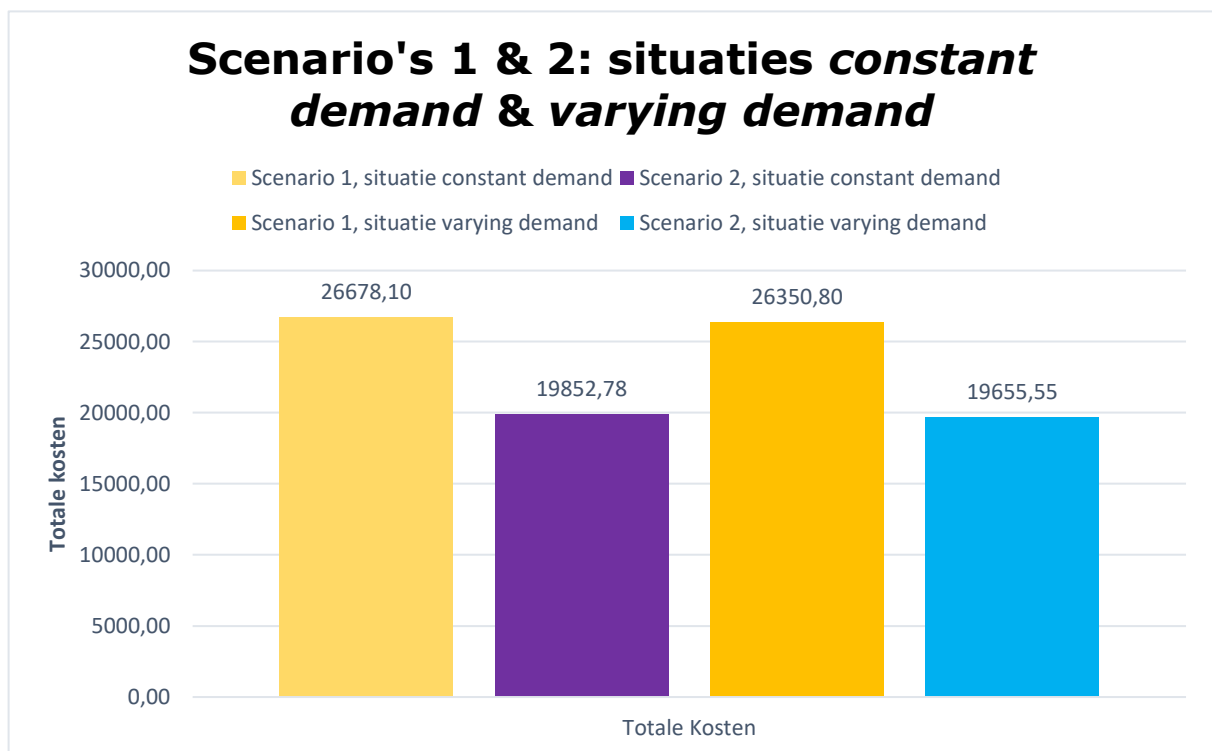
Figuur 20: Kostenanalyse scenario 2: situaties constant demand & varying demand

De totale kostenverschillen bij de twee scenario's liggen rond de één procent (1,23 procent bij het eerste scenario & 0,99 procent bij het tweede scenario). Deze kostenverschillen zijn miniem en kunnen door de twee eerdere aangehaalde redenen voor kostenverschillen verwaarloosd worden. Dit is terug te vinden bij de resultatenvergelijking van de **constant demand** & **varying demand** situaties over de twee scenario's heen (zie Figuur 21). Wat wel opnieuw aangetoond wordt zijn de potentiële voordelen die een SCC kan opleveren. De **totale kosten** van de situaties van het **tweede scenario** zijn beide **lager** dan de **totale kosten** van de situaties van het **eerste scenario**. De toevoeging van een SCC aan de *supply chain* zorgt voor een gemiddelde kostenbesparing van 6760,29 euro, wat overeenkomt met een besparingspercentage van 25,5 procent.

Deze resultaten spreken de gemaakte verwachtingen over de variabiliteit, namelijk dat het voordeliger zou zijn om gebruik te maken van een collectief SCC wanneer de verwachte vraag varieert (**varying demand**) in plaats van constant te zijn (**constant demand**) over de dagen heen, tegen. Voorts zijn de kosten van de **constant demand** & **varying demand** situaties vergelijkbaar met elkaar, waardoor de verwachting dat de **varying demand** situaties hogere kosten bij beide scenario's zouden hebben ook wordt tegengesproken. Uit de resultaten blijkt dat ongeacht de variabiliteit van de vraag de toevoeging van een SCC bij beide situaties altijd zal leiden tot lagere

totale kosten voor de betrokken partijen van de *supply chain*. De twee situaties van het **tweede scenario** hebben bijgevolg dan ook de laagste totale kosten van alle situaties. Dit wil zeggen dat het soort vraag (constant of variabel) naar goederen over de periode heen **niet van invloed** is want de verschillen in resultaten zijn enkel te wijten of er al dan niet een SCC aanwezig is in de *supply chain*. Het SCC zorgt dus voor de besparingen in kosten over de twee scenario's heen.

De toevoeging van een SCC aan de *supply chain* zorgt opnieuw voor een hele reeks voordelen. De gemiddelde ladingsfactoren van de situaties van het **tweede scenario** (met SCC) liggen opnieuw meer dan **2,5 keer hoger** dan die van de situaties van het **eerste scenario** (zonder SCC). Verder zal de toevoeging van het SCC dezelfde voordelen opleveren als bij het onderzoeksdoel omtrent afstand.



Figuur 21: Kostenanalyse scenario's 1 & 2: situaties *constant demand* & *varying demand*

#### 4.4 Conclusie praktijkdeel

Het laatste onderdeel van het praktijkgedeelte zal een korte conclusie geven betreffende de gevonden resultaten van de twee onderzoeksdoelen. Vanuit de resultaten van beide onderzoeksdoelen is het al zeker duidelijk dat het aanbevolen wordt om een SCC te integreren in een *supply chain*. De implementatie van een SCC als slimme oplossing brengt namelijk allerlei voordelen (financieel, sociaal en milieu gebonden) op voor alle betrokken partijen van de *supply chain* (zie onderdelen 4.3.1 & 4.3.2). Bovenop de voordelen die een SCC met zich meebrengt, zal het stedelijke bevoorradingsproces bovendien efficiënter verlopen omdat de ladingsfactoren van de beschikbare voertuigen verhogen.

Het implementeren van een SCC nabij de stadsrand is dus zeker een handig hulpmiddel om het leven van de verspreide leveranciers buiten de stad makkelijker te maken. Des te verder de leveranciers van de binnenstad gelegen zijn, des te hoger de nood aan een SCC. Ondanks dat het soort vraag (constant of variabel) naar goederen over de periode heen geen tot weinig impact heeft op de totale kosten indien er een SCC is, kan het nooit kwaad om informatie omtrent de nodige hoeveelheid goederen tijdig door te geven aan de leveranciers. Hierdoor kan het stedelijke bevoorradingsproces efficiënt blijven verlopen en kunnen de onderlinge betrokken partijen zich beter op elkaar afstemmen. Mits volledige informatie-uitwisseling en een goed niveau van onderlinge samenwerking zal het verder mogelijk zijn om het voorraadbeheer en het opstellen van de rittenplanningen volledig te integreren in het SCC, aldus scenario drie, zoals reeds eerder aanbevolen in de literatuurstudie.

## 5 Conclusie

Steden leveren tegenwoordig, omwille van hun onmisbare rol als centra van economische groei en innovatie, een significante economische bijdrage aan de nationale economie. Het vervullen van deze rol wordt dankzij het stijgende aantal mensen die naar de binnensteden trekken samen met de groeiende *e-commerce* cijfers steeds moeilijker. Deze twee factoren oefenen beide een grote invloed uit op de stedelijke logistieke processen. De verantwoordelijke leveranciers van het stedelijke bevoorradingsproces kampen, omwille van de twee factoren, met een steeds hogere druk om aan de verwachtingen van hun klanten te blijven voldoen. Hiernaast wordt het bevoorraden van klanten tegenwoordig steeds complexer wegens de hoge *last-mile* kosten. Leveranciers moeten dagelijks beslissingen omtrent de frequentie en hoeveelheden van de bevoorrading per klant, samen met de rittenplanningen van de beschikbare voertuigenvloot op elkaar afstemmen, zodat de klanten niet zonder voorraad vallen. Het voorraadbeheer en de rittenplanningen op elkaar afstemmen om de kosten te minimaliseren, vergt een zoektocht naar een oplossing van het voorraad-rittenplanningsprobleem (VRP).

In deze masterproef werd daarom naar een mogelijke slimme, duurzame oplossing voor het VRP gezocht. Een potentiële oplossing die werd beschouwd voor het VRP, is de toevoeging van een stedelijk consolidatie centrum (SCC) aan de *supply chain* van het stedelijke bevoorradingsproces. Een SCC kan vanwege haar consoliderende functie dienen als een centraal gelegen depot bij de zoektocht naar een VRP-modeloplossing. Binnen het SCC kunnen het voorraadbeheer en de rittenplanningen geïntegreerd worden tot één geheel. Indien de leveranciers dan van een SCC nabij de stadsrand gebruik maken om de handelaars te bevoorraden, zal de toegenomen druk omtrent de hogere verwachtingen afnemen. Vooraleer het SCC effectief als oplossing kan dienen, werden alle relevante onderdelen die bij een SCC horen besproken. De centrale onderzoeksvraag van deze masterproef luidt als volgt: "*Hoe kan een Stedelijk Consolidatie Centrum door de voorraad- en rittenplanningsbeslissingen te integreren optimaal te werk gaan?*". Om een antwoord op de centrale onderzoeksvraag te kunnen formuleren, werden er vijf deelvragen opgesteld waarvan de antwoorden in de literatuurstudie aan bod komen.

Het antwoord op de eerste deelvraag "*Wat is de bestaande literatuur over de integratie van voorraadbeheer en rittenplanningen?*" is deels terug te vinden in hoofdstuk twee (2.2.2) als in hoofdstuk drie (3.1.3). Tegenwoordig zijn leveranciers verantwoordelijk voor het voorraadbeheer van hun klanten. Hierdoor kiezen de leveranciers van een *supply chain* voor een gesynchroniseerde aanpak van het beheer van de voorraad en rittenplanningen. Een gesynchroniseerde aanpak leidt tot een beter beheer van de *supply chain* en brengt competitieve voordelen ten opzichte van de concurrentie met zich mee. Om deze voordelen te verwezenlijken, is het van groot belang om de twee concepten te integreren tot één geheel. De implementatie van een SCC in de *supply chain* kan hierbij helpen. Een SCC kan namelijk alle vijf betrokken partijen (handelaars, leveranciers, bewoners, overheid en LDV) van een *supply chain* met elkaar in verbinding stellen. Dit is nodig om een goed niveau van onderlinge samenwerking tussen alle betrokken partijen van de *supply chain* te creëren waarbij de uitwisseling van informatie centraal staat.

De tweede deelvraag zocht naar een antwoord op de vraag "Wat zijn de voordelen om de voorraaden rittenplanningsbeslissingen te integreren in een SCC?". Vanuit de literatuurstudie kwam een lijst van voordelen naar voren (2.2.4) bij integratie van de twee concepten in een SCC. Omdat zowel het voorraadbeheer als de rittenplanningen vanuit één centrale plek worden geregeld, is er veel *real-time* informatie beschikbaar. Door middel van informatie-uitwisseling tussen de vijf betrokken partijen is het mogelijk om dan met *real-time* informatie de rittenplanningen te optimaliseren. Voorts laat een SCC de leveranciers toe om gebruik te maken van een heterogene, milieuvriendelijkere voertuigenvloot. Deze voertuigenvloot geeft leveranciers de optie om het meest gepaste voertuig in te zetten om de handelaars in de binnenstad te beleveren. De keuze om het meest gepaste voertuig per rit in te zetten, zorgt ervoor dat de voertuigen vanuit het SCC vertrekken met hogere laadfactoren. Hierdoor zullen er minder voertuigen nodig zijn. Minder voertuigen zorgen op hun beurt voor lagere leveringskosten, minder afgelegde afstand, minder emissie uitstoot/luchtvervuiling, minder files/opstoppingen, minder conflicten en een verhoging van veiligheid voor voetgangers. In het praktijkgedeelte werd er bovendien nagegaan of het SCC wel degelijk voorgaande voordelen opbrengt.

Het antwoord op de derde deelvraag "Wat zijn de nodige vereisten voor de opbouw van een SCC?" bestaat uit vier delen. Ten eerste is er voor een succesvol SCC een rendabel business model nodig. Een business model schept duidelijkheid over de verantwoordelijkheden van de vijf betrokken partijen en lost eventuele problemen waarvoorheen nog onenigheden over bestonden op. Ten tweede moet er naar een geschikte locatie van het SCC worden gezocht. De locatie moet dicht genoeg bij de stad liggen om de handelaars snel te kunnen bevoorraden, maar moet ook eenvoudig bereikbaar zijn voor de grote trucks van de leveranciers. Ten derde moeten de vijf betrokken partijen bouwen aan een sterk netwerk van onderlinge relaties. Dit bevordert de onderlinge samenwerking en laat ruimte om open met elkaar te communiceren. De vierde vereiste is verder opgedeeld in twee structurele basisvoorwaarden. De eerste basisvoorwaarde houdt in dat er voldoende logistieke partners aanwezig moeten zijn die willen samenwerken met het SCC, om zo de hoge (variabele) kosten bij opstart te kunnen drukken. De tweede basisvoorwaarde heeft betrekking op de organisatie van het SCC. Nieuw opgerichte SCC kunnen slechts succesvol zijn mits bijkomende subsidies van de overheid bij opstart.

De vierde deelvraag zocht naar een antwoord op de vraag "Welke problemen beïnvloeden het succes van een SCC?". Problemen kunnen mogelijke barrières vormen tegen een succesvolle implementatie van een SCC. Vanuit de literatuurstudie kwamen er drie problemen naar voren. Een eerste soort problemen zijn de interne belangenconflicten tussen de betrokken partijen. Hierbij verloopt de onderlinge samenwerking tussen de vijf betrokken partijen stroef omdat ze verschillende belangen voor ogen hebben. De belangen van de vijf partijen op één lijn krijgen waarbij iedereen tevreden is vergt veel coördinerend vermogen. Een tweede soort problemen zijn de legale problemen met externe leveranciers. Om deze problemen te vermijden is het van groot belang om bij opstart zoveel mogelijk logistieke partners te vinden die willen samenwerken met het SCC. Des te meer leveranciers van het begin samenwerken met het SCC, des te aantrekkelijker het SCC initiatief zal zijn voor leveranciers die nog niet overtuigd zijn. Het derde en laatste soort probleem is de kwantificatie van kosten voor sociale en milieugebonden factoren. Indien dit probleem zich voordoet kan het initiatief om een SCC te implementeren in een *supply chain* minder aantrekkelijk lijken dan het wel degelijk

is. Om dit probleem tegen te gaan zou er meer onderzoek moeten gebeuren om monetaire waarden te verbinden aan sociale en milieugebonden voordelen.

De vijfde deelvraag "Wat zijn de respectievelijke voordelen voor alle betrokken partijen bij de aanleg van een SCC?" gaat verder in op de gevonden voordelen bij deelvraag twee. De respectievelijke voordelen voor de vijf betrokken partijen worden in de literatuurstudie zorgvuldig benoemd (2.2.5). De LDV, de leveranciers en de handelaars ondervinden de meeste voordelen bij de implementatie van een SCC in een *supply chain*. Vervolgens zijn er de bewoners die genieten van alle voordelen dankzij het minder aantal voertuigen in de binnenstad. Ten slotte zal de overheid nog deels meegenieten van alle voorgaande voordelen. Het SCC initiatief zal de overheid immers wel meer kosten dan voordelen opleveren omdat de overheid het SCC grotendeels financiert.

In het praktijkgedeelte van deze masterproef zijn er verschillende experimenten uitgevoerd. De experimenten hadden als doel om de impact en bijhorende voordelen van een SCC in een *supply chain* tussen twee scenario's (zonder en met SCC) te bepalen. Hierbij werden twee onderzoeksdoelen vooropgesteld en vervolgens geanalyseerd.

Het eerste onderzoeksdoel had betrekking op de afstand tussen de verschillende leveranciers en de handelaars in de binnenstad. Ongeacht de locatie van de leveranciers, leidt het toevoegen van een SCC bij beide situaties tot lagere totale kosten voor de betrokken partijen van de *supply chain*. Zo zijn de totale kosten van de *far* situatie bij het tweede scenario (21 690,84 euro) zelfs lager dan de totale kosten van de *close* situatie bij het eerste scenario (25 673,34 euro). Naast de lagere totale kosten zorgt het SCC tevens voor een efficiëntere uitvoering van het stedelijk bevoorradingsproces. De laadfactoren van de voertuigen liggen 2,5 keer hoger ten opzichte van het scenario zonder SCC. Ten slotte zorgt de toevoeging van een SCC aan de *supply chain* nog voor een hele reeks financiële, sociale en milieugebonden voordelen.

Bij het tweede onderzoeksdoel over de variabiliteit in de dagelijkse vraaghoeveelheid naar goederen van de klanten aan de handelaars, kon dezelfde conclusie worden gemaakt als bij het eerste onderzoeksdoel. Wederom had het scenario met SCC telkens de laagste totale kosten. De toevoeging van een SCC aan de *supply chain* zorgt voor een gemiddelde kostenbesparing van 6760,29 euro, wat overeenkomt met een besparingspercentage van 25,5 procent. Bovenop de lagere totale kosten was er ook hier sprake van een verhoging van de laadfactoren (2,5 keer hoger) en een hele reeks financiële, sociale en milieugebonden voordelen. Het soort vraag (constant of variabel) is echter niet van invloed.



## 6 Beperkingen & aanbevelingen

Het finale onderdeel van deze masterproef zal de beperkingen van het onderzoek aanhalen en enkele aanbevelingen maken voor verder toekomstig onderzoek.

### 6.1 Beperkingen

Een eerste beperking bij het onderzoek van het praktijkgedeelte is dat er geen experimenten zijn uitgevoerd op het derde scenario. Het derde scenario dient als uitbreiding op het tweede scenario waarbij het voorraadbeheer en de rittenplanning wel volledig geïntegreerd zijn in het SCC. Omdat het scenario immers nog niet gefinaliseerd is, is het dus nog niet bruikbaar om op te experimenteren.

Een tweede beperking is dat de experimenten enigszins op kleine schaal uitgevoerd zijn. De experimenten liepen telkens maar voor een periode van veertien dagen, waarbij er per experiment vijf leveranciers en twintig handelaars waren opgenomen. In de realiteit zal de planningsperiode niet alleen langer zijn, maar zal de planning ook meer leveranciers en handelaars bevatten. De schaal van de experimenten werd echter klein gehouden om een overzicht van de resultaten te bewaren. Een grotere schaal, met een langere periode en meer betrokken partijen, had de bespreking van de gevonden resultaten ingewikkelder gemaakt.

Een derde beperking is het aantal *instances* per experiment. Om ervoor te zorgen dat de resultaten representatief zouden zijn voor de realiteit, werden er tien *instances* per experiment aangemaakt. Hoewel dit zeker geen slechte basis is om bruikbare resultaten te verkrijgen, is het altijd voordeliger om nog meer *instances* te hebben. Het toevoegen van meer *instances* zorgt ervoor dat eventuele uitschieters bij het onderzoek worden gecompenseerd.

Tot slot moet er nog vermeld worden dat het onderzoek enkel uitgevoerd is voor de B2B context. Verder is dit een onderzoek over een onderwerp waarvoor er nog steeds nieuwe literatuur wordt toegevoegd. Het is dus mogelijk dat niet alle relevante aspecten van dit onderwerp in deze masterproef aan bod komen.

### 6.2 Aanbevelingen

Een eerste aanbeveling voor verder onderzoek is om experimenten uit te voeren op het derde scenario zodra dit gebruiksklaar is. Vanuit de resultatenbespreking was al duidelijk dat de ladingsfactoren van de voertuigen stegen van scenario één naar scenario twee. Deze ladingsfactoren zouden nog hoger kunnen liggen indien het voorraadbeheer en de rittenplanningen volledig geïntegreerd zouden zijn in het SCC (scenario drie). De volledige integratie van de twee concepten bij scenario drie zou dus een nog meer efficiënt stedelijk bevoorradingsproces kunnen opleveren. Verder zouden de experimenten bij het derde scenario op een grotere schaal met meer *instances* voor een langere periode moeten worden uitgevoerd. Hierdoor zijn de resultaten meer representatief voor de realiteit.

Een tweede aanbeveling is om experimenten uit te voeren met andere onderzoeksdoelen voor ogen. Het uitvoeren van experimenten voor diverse onderzoeksdoelen biedt de mogelijkheid om met de waarden van andere parameters te spelen. De parameters die voorheen vaste algemene waardes hadden krijgen variërende waardes en vice versa. Op deze manier kan de impact van alle relevante



parameters worden bepaald. Zo kan er naar de ideale combinatie van parameters worden gezocht, zodat het SCC het meest efficiënt ingezet kan worden.

Voorts wordt het aanbevolen om meer aandacht te besteden aan de dynamische omgeving van steden. Steden zijn dynamisch van aard en continu op zoek naar verbetering. Daarom zou er meer onderzoek moeten gebeuren naar stedelijke veranderingen die impact hebben op de logistieke beslissingen van de leveranciers.

Tot slot zou er meer onderzoek naar de beslissingsfactoren van logistieke bedrijven moeten zijn om samen te werken met een SCC. Om het succes van een SCC te garanderen is het belangrijk om de motiveredenen en struikelblokken van de leveranciers te bepalen. Hiervoor zouden eventueel enquêtes of studies uitgevoerd kunnen worden.

## 7 BIBLIOGRAFIE

- Allen, J., Browne, M., Woodburn, A., & Leonardi, J. (2012). The role of urban consolidation centres in sustainable freight transport. *Transport Reviews*, 32(4), 473-490.
- Allen, J., Browne, M., Woodburn, A., & Leonardi, J. (2014). *A review of urban consolidation centres in the supply chain based on a case study approach*. Paper presented at the Supply Chain Forum: an international journal.
- Ambrosini, C., & Routhier, J. I. (2004). Objectives, methods and results of surveys carried out in the field of urban freight transport: an international comparison. *Transport Reviews*, 24(1), 57-77.
- Anderson, S., Allen, J., & Browne, M. (2005). Urban logistics--how can it meet policy makers' sustainability objectives? *Journal of transport geography*, 13(1), 71-81.
- Andersson, H., Hoff, A., Christiansen, M., Hasle, G., & Løkketangen, A. (2010). Industrial aspects and literature survey: Combined inventory management and routing. *Computers & Operations Research*, 37(9), 1515-1536.
- Archetti, C., & Bertazzi, L. (2021). Recent challenges in Routing and Inventory Routing: E-commerce and last-mile delivery. *Networks*, 77(2), 255-268.
- Banister, D. (2005). Overcoming barriers to the implementation of sustainable transport. *Barriers to Sustainable Transport: Institutions, regulation and sustainability*, 54-68.
- Bell, W. J., Dalberto, L. M., Fisher, M. L., Greenfield, A. J., Jaikumar, R., Kedia, P., . . . Prutzman, P. J. (1983). Improving the distribution of industrial gases with an on-line computerized routing and scheduling optimizer. *Interfaces*, 13(6), 4-23.
- Bertazzi, L., & Speranza, M. G. (2013). Inventory routing problems with multiple customers. *EURO Journal on Transportation and Logistics*, 2(3), 255-275.
- Björklund, M., Abrahamsson, M., & Johansson, H. (2017). Critical factors for viable business models for urban consolidation centres. *Research in Transportation Economics*, 64, 36-47.
- Björklund, M., & Johansson, H. (2018). Urban consolidation centre--a literature review, categorisation, and a future research agenda. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*.
- Browne, M., Allen, J., & Leonardi, J. (2011). Evaluating the use of an urban consolidation centre and electric vehicles in central London. *IATSS research*, 35(1), 1-6.
- Browne, M., Behrends, S., Woxenius, J., Giuliano, G., & Holguín-Veras, J. (2018). *Urban logistics: Management, policy and innovation in a rapidly changing environment*: Kogan Page Publishers.
- Browne, M., Sweet, M., Woodburn, A., & Allen, J. (2005). Urban freight consolidation centres final report. *Transport Studies Group, University of Westminster*, 10.
- Buhaug, H., & Urdal, H. (2013). An urbanization bomb? Population growth and social disorder in cities. *Global environmental change*, 23(1), 1-10.
- Campbell, A., Clarke, L., Kleywegt, A., & Savelsbergh, M. (1998). The inventory routing problem. In *Fleet management and logistics* (pp. 95-113): Springer.
- Campbell, A. M., & Savelsbergh, M. W. (2004). A decomposition approach for the inventory-routing problem. *Transportation science*, 38(4), 488-502.

- Cattaruzza, D., Absi, N., Feillet, D., & González-Feliu, J. (2017). Vehicle routing problems for city logistics. *EURO Journal on Transportation and Logistics*, 6(1), 51-79.
- Christopher, M. (2010). *Logistics and supply chain management*: Pearson Business.
- Coelho, L. C., Cordeau, J.-F., & Laporte, G. (2014). Thirty years of inventory routing. *Transportation science*, 48(1), 1-19.
- Coelho, L. C., & Laporte, G. (2013). A branch-and-cut algorithm for the multi-product multi-vehicle inventory-routing problem. *International Journal of Production Research*, 51(23-24), 7156-7169.
- Cordeau, J.-F., Laganà, D., Musmanno, R., & Vocaturro, F. (2015). A decomposition-based heuristic for the multiple-product inventory-routing problem. *Computers & Operations Research*, 55, 153-166.
- Crainic, T. G., Ricciardi, N., & Storchi, G. (2004). Advanced freight transportation systems for congested urban areas. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 12(2), 119-137.
- Dablanc, L., Patier, D., Gonzalez-Feliu, J., Augereau, V., Leonardi, J., Simmeone, T., & Cerdà, L. (2011). *SUGAR. Sustainable Urban Goods Logistics Achieved by Regional and Local Policies. City Logistics Best Practices: a Handbook for Authorities*. Retrieved from
- de Carvalho, N. L., Vieira, J. G. V., da Fonseca, P. N., & Dulebenets, M. A. (2020). A multi-criteria structure for sustainable implementation of urban distribution centers in historical cities. *Sustainability*, 12(14), 5538.
- Deng, Q., Fang, X., & Lim, Y. F. (2021). Urban Consolidation Center or Peer-to-Peer Platform? The Solution to Urban Last-Mile Delivery. *Production and Operations Management*, 30(4), 997-1013.
- Dooren, P. V. (2020). Consolidatie last mile duidelijk kostenbesparend. *Flows*.
- Dooren, P. V. (2021). DHL Express belevt Antwerpen vanaf nu emissieloos. *Flows*.
- Finnegan, C., Finlay, H., O'Mahony, M., & O'Sullivan, D. (2005). Urban freight in dublin city center, Ireland: Survey analysis and strategy evaluation. *Transportation research record*, 1906(1), 33-41.
- Hiassat, A., Diabat, A., & Rahwan, I. (2017). A genetic algorithm approach for location-inventory-routing problem with perishable products. *Journal of manufacturing systems*, 42, 93-103.
- Isa, S. S., Lima Jr, O. F., & Vieira, J. G. V. (2021). Urban consolidation centers: Impact analysis by stakeholder. *Research in Transportation Economics*, 101045.
- Iswari, T., Caris, A., & Braekers, K. (2022). *A collaborative model for inventory routing in city logistics. Working paper, Hasselt University*.
- Lebeau, P., Macharis, C., Van Mierlo, J., & Maes, G. (2013). Implementing electric vehicles in urban distribution: A discrete event simulation. *World Electric Vehicle Journal*, 6(1), 38-47.
- Lin, J., Chen, Q., & Kawamura, K. (2016). Sustainability SI: logistics cost and environmental impact analyses of urban delivery consolidation strategies. *Networks and Spatial Economics*, 16(1), 227-253.
- Lindholm, M., & Browne, M. (2013). Local authority cooperation with urban freight stakeholders: A comparison of partnership approaches. *European Journal of transport and infrastructure research*, 13(1).

- Lopez, E. (2017). Why is the last mile so inefficient. *Supply Chain Dive*.
- Malladi, K. T., & Sowlati, T. (2018). Sustainability aspects in Inventory Routing Problem: A review of new trends in the literature. *Journal of Cleaner Production*, 197, 804-814.
- May, A. D., Kelly, C., & Shepherd, S. (2006). The principles of integration in urban transport strategies. *Transport Policy*, 13(4), 319-327.
- Nordtømme, M. E., Bjerkan, K. Y., & Sund, A. B. (2015). Barriers to urban freight policy implementation: The case of urban consolidation center in Oslo. *Transport Policy*, 44, 179-186.
- Osterwalder, A., Pigneur, Y., & Tucci, C. L. (2005). Clarifying business models: Origins, present, and future of the concept. *Communications of the association for Information Systems*, 16(1), 1.
- Quak, H., Balm, S., & Posthumus, B. (2014). Evaluation of city logistics solutions with business model analysis. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 125, 111-124.
- Quak, H., & Tavasszy, L. (2011). Customized solutions for sustainable city logistics: the viability of urban freight consolidation centres. In *Transitions towards sustainable mobility* (pp. 213-233): Springer.
- Raa, B., & Dullaert, W. (2017). Route and fleet design for cyclic inventory routing. *European Journal of Operational Research*, 256(2), 404-411.
- Teece, D. J. (2010). Business models, business strategy and innovation. *Long range planning*, 43(2-3), 172-194.
- Thompson, R. G., & Taniguchi, E. (2017). City logistics and freight transport. In *Handbook of logistics and supply-chain management*: Emerald Group Publishing Limited.
- Vadseth, S. T., Andersson, H., & Stålhane, M. (2021). An iterative matheuristic for the inventory routing problem. *Computers & Operations Research*, 131, 105262.
- Van Duin, J. R., Quak, H., & Muñuzuri, J. (2010). New challenges for urban consolidation centres: A case study in The Hague. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 2(3), 6177-6188.
- Vural, C. A., & Aktepe, Ç. (2021). Why do some sustainable urban logistics innovations fail? The case of collection and delivery points. *Research in Transportation Business & Management*, 100690.
- Wang, Y., Zhang, D., Liu, Q., Shen, F., & Lee, L. H. (2016). Towards enhancing the last-mile delivery: An effective crowd-tasking model with scalable solutions. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 93, 279-293.
- WCED, S. W. S. (1987). World commission on environment and development. *Our common future*, 17(1), 1-91.
- Zhang, P., Xu, X., Shi, V., & Zhu, J. (2020). Simultaneous inventory competition and transshipment between retailers. *International Journal of Production Economics*, 230, 107781.



## BIJLAGEN

### Bijlage 1: Verduidelijking criteria Tabel 4

<p><b>Time horizon</b></p>	<p>De <i>Time horizon</i> is bepalend voor de termijnduur van de planning.</p> <p>Instant: korte termijn, meestal maar één levering per klant</p> <p>Finite: middellange termijn, meerdere leveringen per klant</p> <p>Infinite: lange termijn, een distributiestrategie wordt toegepast in plaats van een standaard planning</p>
<p><b>Demand</b></p>	<p>De <i>Demand</i> van de klanten kan op voorhand (volledig) gekend zijn of niet.</p> <p>Stochastic: de vraag is niet volledig gekend, er heerst een zekere mate van onzekerheid</p> <p>Deterministic: de vraag is volledig gekend, er is volle zekerheid</p>
<p><b>Structure</b></p>	<p>De <i>Structure</i> gaat over het aantal leveranciers en aantal klanten.</p> <p>One-to-one: één leverancier, één klant</p> <p>One-to-many: één leverancier, meerdere klanten</p> <p>Many-to-many: meerdere leveranciers, meerdere klanten</p>
<p><b>Routing</b></p>	<p>De <i>Routing</i> beslist hoe de voertuigen naar de klant gaan.</p> <p>Direct: het voertuig gaat van depot naar één klant en terug</p> <p>Multiple: het voertuig gaat van depot naar meerdere klanten en terug</p> <p>Continuous: het voertuig levert rechtstreeks aan de klant zonder tussenstops aan een depot</p>
<p><b>Inventory policy</b></p>	<p><i>Inventory policy</i> zijn vooropgestelde regels die gebruikt worden bij de bevoorrading van klanten.</p> <p>Maximum level (ML): flexibele hoeveelheid voorraad leverbaar begrensd door de capaciteit van de klant</p> <p>Order-up-to level (OU): vaste hoeveelheid voorraad leverbaar om aan de capaciteit te komen</p>

<p><b>Inventory decisions</b></p>	<p><i>Inventory decisions</i> bepalen of er al dan niet negatieve voorraad mag zijn bij de klant. Indien er toch negatieve voorraad is, kan de leverancier een extra (penalty)kost oplopen.</p> <p>Lost sales: er wordt niet altijd aan de klantvraag voorzien, de niet-leverbare hoeveelheid is een verloren opbrengst</p> <p>Back-order: er wordt niet altijd aan de klantvraag voorzien, negatieve voorraad wordt in een latere periode gecompenseerd</p> <p>Non-negative: er wordt altijd aan de klantvraag voorzien, de voorraad mag niet negatief worden</p>
<p><b>Fleet composition</b></p>	<p>De <i>Fleet composition</i> verwijst naar het soort voertuigen die gebruikt worden.</p> <p>Homogeneous: alle voertuigen hebben dezelfde eigenschappen</p> <p>Heterogeneous: de voertuigen zijn verschillend in eigenschappen</p>
<p><b>Fleet size</b></p>	<p>De <i>Fleet size</i> verwijst naar het aantal beschikbare voertuigen.</p> <p>Single: één voertuig beschikbaar</p> <p>Multiple: meerdere voertuigen beschikbaar, geen optie om extra voertuigen te gebruiken</p> <p>Unconstrained: meerdere voertuigen beschikbaar, wel optie om extra voertuigen te gebruiken</p>

## Bijlage 2: Uitleg *readme* bestand voor de inputparameters van een *instance*

Data file

Scenario\_retailers\_suppliers\_capacity\_holdingcost\_instance\_Replenishmentmethod

### SCENARIO 1

a b c d e f g

a = number of retailers

b = number of suppliers

c = number of periods

d = number of vehicles

e = small vehicle capacity (not necessary for S1, can be ignored)

f = order cost

g = replenishment method

### Data vehicle characteristics (for each supplier)

Num_Supplier	Capacity	Speed(km/h)	Operational_cost	Emission_cost	Noise_cost
	Congestion_cost	Driver_cost			

### Data nodes

Node_id	x_koord	y_koord	lower_tw	upper_tw	service_time
---------	---------	---------	----------	----------	--------------

### Data nodes (for all supplier/product)

Node_id	Initial_inv(s1)	Min_inv(s1)	Max_inv(s1)	Holding_cost(s1)
	Initial_inv(s2)	Min_inv(s2)	Max_inv(s2)	Holding_cost(s2) ... and so on

### Data demand (for all suppliers)

Node_id	p1 p2 .... p14(s1)	p1 p2 .... p14(s2)	... and so on
---------	--------------------	--------------------	---------------

\*Data for scenario 1 always starts from the suppliers, then retailers

\*s1 = supplier 1, s2 = supplier 2

### SCENARIO 2

a b c d e f g

a = number of retailers

b = number of suppliers

c = number of periods

d = number of vehicles



e = small vehicle capacity (condition for multitrip)

f = order cost

g = replenishment method

**Data vehicle characteristics - 1st echelon (for each supplier)**

Num_Supplier	Capacity	Speed(km/h)	Operational_cost	Emission_cost	Noise_cost
	Congestion_cost	Driver_cost			

**Data vehicle characteristics - 2nd echelon (city hub)**

Vehicle_id	Capacity	Speed(km/h)	Operational_cost	Emission_cost	Noise_cost
	Congestion_cost	Driver_cost			

**Data nodes**

Node_id	x_koord	y_koord	lower_tw	upper_tw	service_time
---------	---------	---------	----------	----------	--------------

**Data nodes (for all supplier/product)**

Node_id	Initial_inv(s1)	Min_inv(s1)	Max_inv(s1)	Holding_cost(s1)
	Initial_inv(s2)	Min_inv(s2)	Max_inv(s2)	Holding_cost(s2) ... and so on

**Data demand (for all suppliers)**

Node_id	p1 p2 .... p14(s1)	p1 p2 .... p14(s2)	... and so on
---------	--------------------	--------------------	---------------

\*Data for scenario 2 always starts from the city hub, suppliers, then retailers

\*s1 = supplier 1, s2 = supplier 2

Bijlage 3: Voorbeeld van een scenario 2 *instance*

20 5 14 10 600 10 2

1	2000	17	0.18	0.11	0.05	0.49	0.3
2	2000	17	0.18	0.11	0.05	0.49	0.3
3	2000	17	0.18	0.11	0.05	0.49	0.3
4	2000	17	0.18	0.11	0.05	0.49	0.3
5	2000	17	0.18	0.11	0.05	0.49	0.3

1	600	12	0.1	0	0	0	0.3
2	600	12	0.1	0	0	0	0.3
3	600	12	0.1	0	0	0	0.3
4	600	12	0.1	0	0	0	0.3
5	600	12	0.1	0	0	0	0.3

1	2000	17	0.18	0.11	0.05	0.49	0.3
2	2000	17	0.18	0.11	0.05	0.49	0.3
3	2000	17	0.18	0.11	0.05	0.49	0.3
4	2000	17	0.18	0.11	0.05	0.49	0.3
5	2000	17	0.18	0.11	0.05	0.49	0.3

0	15450	21000	0	480	0
1	20000	25000	0	480	0
2	12000	24000	0	480	0
3	8000	15000	0	480	0
4	8000	7000	0	480	0
5	24000	13000	0	480	0
1	15249	13523	340	400	10
2	11758	12105	100	160	10
3	19621	17095	190	250	10
4	17296	19916	370	430	10

5	15678	10178	310	370	10
6	13579	15058	220	280	10
7	17577	12750	240	300	10
8	14007	13729	50	110	10
9	14081	12995	210	270	10
10	12678	14676	290	350	10
11	19313	15253	370	430	10
12	16117	14977	210	270	10
13	19160	11505	210	270	10
14	10153	14591	260	320	10
15	16562	13576	70	130	10
16	14854	10072	90	150	10
17	11134	13016	290	350	10
18	15050	19193	320	380	10
19	11945	11852	260	320	10
20	10747	12521	360	420	10

0	0	0	150	0	0	0	150	0	0	0	150	0
	0	0	150	0	0	0	150	0				
1	0	0	150	0	0	0	150	0	0	0	150	0
	0	0	150	0	0	0	150	0				
2	0	0	150	0	0	0	150	0	0	0	150	0
	0	0	150	0	0	0	150	0				
3	0	0	150	0	0	0	150	0	0	0	150	0
	0	0	150	0	0	0	150	0				
4	0	0	150	0	0	0	150	0	0	0	150	0
	0	0	150	0	0	0	150	0				
5	0	0	150	0	0	0	150	0	0	0	150	0
	0	0	150	0	0	0	150	0				
1	37	0	150	0.1	0	0	150	0.3	42	0	150	0.2
	12	0	150	0.4	0	0	150	0.1				

2	70	0	150	0.1	0	0	150	0.1	18	0	150	0.1
	45	0	150	0.2	41	0	150	0.2				
3	0	0	150	0.4	32	0	150	0.4	7	0	150	0.3
	6	0	150	0.2	53	0	150	0.5				
4	16	0	150	0.1	0	0	150	0.3	23	0	150	0.4
	88	0	150	0.3	26	0	150	0.3				
5	21	0	150	0.4	12	0	150	0.4	0	0	150	0.5
	37	0	150	0.5	8	0	150	0.4				
6	28	0	150	0.1	0	0	150	0.4	58	0	150	0.4
	29	0	150	0.1	47	0	150	0.2				
7	90	0	150	0.2	0	0	150	0.5	6	0	150	0.3
	14	0	150	0.1	15	0	150	0.2				
8	15	0	150	0.2	20	0	150	0.4	39	0	150	0.2
	12	0	150	0.1	0	0	150	0.4				
9	33	0	150	0.3	28	0	150	0.5	42	0	150	0.2
	41	0	150	0.2	0	0	150	0.3				
10	0	0	150	0.4	36	0	150	0.2	17	0	150	0.1
	50	0	150	0.4	36	0	150	0.1				
11	49	0	150	0.1	0	0	150	0.2	4	0	150	0.5
	38	0	150	0.5	28	0	150	0.2				
12	0	0	150	0.5	31	0	150	0.3	32	0	150	0.4
	9	0	150	0.3	19	0	150	0.5				
13	84	0	150	0.4	46	0	150	0.1	55	0	150	0.1
	58	0	150	0.2	37	0	150	0.1				
14	0	0	150	0.2	0	0	150	0.2	28	0	150	0.3
	16	0	150	0.3	85	0	150	0.2				
15	32	0	150	0.3	0	0	150	0.4	27	0	150	0.5
	24	0	150	0.2	74	0	150	0.1				
16	56	0	150	0.3	54	0	150	0.5	35	0	150	0.2
	37	0	150	0.1	46	0	150	0.3				
17	40	0	150	0.1	0	0	150	0.1	18	0	150	0.4
	49	0	150	0.4	37	0	150	0.1				
18	30	0	150	0.4	0	0	150	0.3	30	0	150	0.1
	28	0	150	0.1	0	0	150	0.4				

19	74	0	150	0.5	0	0	150	0.5	62	0	150	0.3
	0	0	150	0.1	12	0	150	0.3				
20	28	0	150	0.2	94	0	150	0.5	84	0	150	0.2
	4	0	150	0.2	59	0	150	0.2				
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
1	37	37	37	37	37	37	37	37	37	37	37	37
	37	37	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24
	24	24	24	24	36	36	36	36	36	36	36	36
	36	36	36	36	36	36	32	32	32	32	32	32
	32	32	32	32	32	32	32	32	16	16	16	16
	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16		
2	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35
	35	35	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11
	11	11	11	11	17	17	17	17	17	17	17	17
	17	17	17	17	17	17	15	15	15	15	15	15
	15	15	15	15	15	15	15	15	49	49	49	49
	49	49	49	49	49	49	49	49	49	49		
3	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14
	14	14	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32
	32	32	32	32	42	42	42	42	42	42	42	42
	42	42	42	42	42	42	24	24	24	24	24	24
	24	24	24	24	24	24	24	24	27	27	27	27
	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27		
4	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16
	16	16	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21
	21	21	21	21	25	25	25	25	25	25	25	25
	25	25	25	25	25	25	44	44	44	44	44	44
	44	44	44	44	44	44	44	44	18	18	18	18
	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18		
5	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21
	21	21	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12
	12	12	12	12	18	18	18	18	18	18	18	18
	18	18	18	18	18	18	36	36	36	36	36	36
	36	36	36	36	36	36	36	36	23	23	23	23
	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23		
6	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14
	14	14	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32
	32	32	32	32	46	46	46	46	46	46	46	46
	46	46	46	46	46	46	28	28	28	28	28	28
	28	28	28	28	28	28	28	28	17	17	17	17
	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17		

7	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45
	45	45	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40
	40	40	40	40	32	32	32	32	32	32	32	32
	32	32	32	32	32	32	37	37	37	37	37	37
	37	37	37	37	37	37	37	37	21	21	21	21
	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21		
8	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15
	15	15	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
	20	20	20	20	17	17	17	17	17	17	17	17
	17	17	17	17	17	17	19	19	19	19	19	19
	19	19	19	19	19	19	19	19	40	40	40	40
	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40		
9	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33
	33	33	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14
	14	14	14	14	29	29	29	29	29	29	29	29
	29	29	29	29	29	29	16	16	16	16	16	16
	16	16	16	16	16	16	16	16	31	31	31	31
	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31		
10	49	49	49	49	49	49	49	49	49	49	49	49
	49	49	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36
	36	36	36	36	25	25	25	25	25	25	25	25
	25	25	25	25	25	25	26	26	26	26	26	26
	26	26	26	26	26	26	26	26	17	17	17	17
	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17		
11	49	49	49	49	49	49	49	49	49	49	49	49
	49	49	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25
	25	25	25	25	34	34	34	34	34	34	34	34
	34	34	34	34	34	34	38	38	38	38	38	38
	38	38	38	38	38	38	38	38	20	20	20	20
	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20		
12	43	43	43	43	43	43	43	43	43	43	43	43
	43	43	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31
	31	31	31	31	43	43	43	43	43	43	43	43
	43	43	43	43	43	43	47	47	47	47	47	47
	47	47	47	47	47	47	47	47	16	16	16	16
	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16		
13	42	42	42	42	42	42	42	42	42	42	42	42
	42	42	46	46	46	46	46	46	46	46	46	46
	46	46	46	46	14	14	14	14	14	14	14	14
	14	14	14	14	14	14	29	29	29	29	29	29

	29	29	29	29	29	29	29	29	29	25	25	25	25
	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25		
14	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
	10	10	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15
	15	15	15	15	41	41	41	41	41	41	41	41	41
	41	41	41	41	41	41	43	43	43	43	43	43	43
	43	43	43	43	43	43	43	43	13	13	13	13	13
	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13			
15	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16
	16	16	46	46	46	46	46	46	46	46	46	46	46
	46	46	46	46	26	26	26	26	26	26	26	26	26
	26	26	26	26	26	26	15	15	15	15	15	15	15
	15	15	15	15	15	15	15	15	47	47	47	47	47
	47	47	47	47	47	47	47	47	47	47			
16	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28
	28	28	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27
	27	27	27	27	37	37	37	37	37	37	37	37	37
	37	37	37	37	37	37	26	26	26	26	26	26	26
	26	26	26	26	26	26	26	26	23	23	23	23	23
	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23			
17	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40
	40	40	49	49	49	49	49	49	49	49	49	49	49
	49	49	49	49	19	19	19	19	19	19	19	19	19
	19	19	19	19	19	19	48	48	48	48	48	48	48
	48	48	48	48	48	48	48	48	16	16	16	16	16
	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16			
18	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15
	15	15	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48
	48	48	48	48	36	36	36	36	36	36	36	36	36
	36	36	36	36	36	36	25	25	25	25	25	25	25
	25	25	25	25	25	25	25	25	41	41	41	41	41
	41	41	41	41	41	41	41	41	41	41			
19	37	37	37	37	37	37	37	37	37	37	37	37	37
	37	37	44	44	44	44	44	44	44	44	44	44	44
	44	44	44	44	29	29	29	29	29	29	29	29	29
	29	29	29	29	29	29	14	14	14	14	14	14	14
	14	14	14	14	14	14	14	14	10	10	10	10	10
	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10			



20	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14
	14	14	47	47	47	47	47	47	47	47	47	47
	47	47	47	47	45	45	45	45	45	45	45	45
	45	45	45	45	45	45	36	36	36	36	36	36
	36	36	36	36	36	36	36	36	27	27	27	27
	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27

Bijlage 4: Resultaten Scenario één, situatie *close*

Scenario 1, situatie <i>close</i>	Gemiddelde over de 10 instances
<b>Voorraadsbeheerskosten:</b>	
Voorraadkosten	
Producten leverancier 1	1265,70
Producten leverancier 2	1575,30
Producten leverancier 3	1429,10
Producten leverancier 4	1317,30
Producten leverancier 5	1113,40
Orderkosten	
Producten leverancier 1	1310,00
Producten leverancier 2	1370,00
Producten leverancier 3	1370,00
Producten leverancier 4	1360,00
Producten leverancier 5	1320,00
<b>Totale Voorraadsbeheerskosten</b>	<b>13430,80</b>
<b>Rittenplanningskosten:</b>	
Operationele kosten	797,95
Emissie kosten	487,64
Geluidsoverlast kosten	221,65
Opstopingskosten	2172,20
Duurtijd kosten	8563,11
<b>Totale Rittenplanningskosten</b>	<b>12242,54</b>
<b>Totale Kosten</b>	<b>25673,34</b>
Ladingsfactor	19%
Aantal trips	104
Totale afstand (eenheid km)	4433,06
Totale duur (eenheid min)	28543,68

Bijlage 5: Resultaten Scenario één, situatie *far*

<b>Scenario 1, situatie <i>far</i></b>	<b>Gemiddelde over de 10 instances</b>
<b>Voorraadsbeheerskosten:</b>	
Voorraadkosten	
Producten leverancier 1	1265,70
Producten leverancier 2	1575,30
Producten leverancier 3	1429,10
Producten leverancier 4	1317,30
Producten leverancier 5	1113,40
Orderkosten	
Producten leverancier 1	1310,00
Producten leverancier 2	1370,00
Producten leverancier 3	1370,00
Producten leverancier 4	1360,00
Producten leverancier 5	1320,00
<b>Totale Voorraadsbeheerskosten</b>	<b>13430,80</b>
<b>Rittenplanningskosten:</b>	
Operationele kosten	1296,21
Emissie kosten	792,13
Geluidsoverlast kosten	360,06
Opstopingskosten	3528,56
Duurtijd kosten	11653,06
<b>Totale Rittenplanningskosten</b>	<b>17630,02</b>
<b>Totale Kosten</b>	<b>31060,82</b>
Ladingsfactor	18%
Aantal trips	111
Totale afstand (eenheid km)	7201,15
Totale duur (eenheid min)	38843,53

Bijlage 6: Resultaten Scenario twee, situatie *close*

Scenario 2, situatie <i>close</i>	Gemiddelde over de 10 instances
Voorraadsbeheerskosten deel 1:	
Voorraadsbeheerskosten deel 1	0,00
Rittenplanningskosten deel 1:	
Rittenplanningskosten deel 1	2767,19
Aantal voertuigen	70
Ladingsfactor	28%
Totale afstand (eenheid km)	1465,04
Totale duur (eenheid min)	5170,72
Voorraadsbeheerskosten deel 2:	
Voorraadsbeheerskosten deel 2	13430,80
Rittenplanningskosten deel 2:	
Rittenplanningskosten deel 2	3110,38
Aantal bestelwagens	22
Aantal fietsen	15
Ladingsfactor	71%
Ladingsfactor fietsen	69%
Ladingsfactor bestelwagens	73%
Aantal trips fietsen	17
Aantal trips bestelwagens	22
Totale afstand fietsen	373,62
Totale afstand bestelwagens	834,44
Totale afstand (eenheid km)	1208,06
Totale duur (eenheid min)	7934,76
<b>Totale Voorraadsbeheerskosten</b>	<b>13430,80</b>
<b>Totale Rittenplanningskosten</b>	<b>5877,57</b>
<b>Totale Kosten</b>	<b>19308,37</b>
Ladingsfactor	49%
Totale afstand (eenheid km)	2673,10
Totale duur (eenheid min)	13105,47

Bijlage 7: Resultaten Scenario twee, situatie *far*

Scenario 2, situatie <i>far</i>	Gemiddelde over de 10 instances
Voorraadsbeheerskosten deel 1:	
Voorraadsbeheerskosten deel 1	0,00
Rittenplanningskosten deel 1:	
Rittenplanningskosten deel 1	5146,07
Aantal voertuigen	70
Ladingsfactor	28%
Totale afstand (eenheid km)	2724,49
Totale duur (eenheid min)	9615,83
Voorraadsbeheerskosten deel 2:	
Voorraadsbeheerskosten deel 2	13430,80
Rittenplanningskosten deel 2:	
Rittenplanningskosten deel 2	3113,97
Aantal bestelwagens	23
Aantal fietsen	16
Ladingsfactor	70%
Ladingsfactor fietsen	69%
Ladingsfactor bestelwagens	71%
Aantal trips fietsen	18
Aantal trips bestelwagens	23
Totale afstand fietsen	393,25
Totale afstand bestelwagens	817,16
Totale afstand (eenheid km)	1210,41
Totale duur (eenheid min)	7987,98
<b>Totale Voorraadsbeheerskosten</b>	<b>13430,80</b>
<b>Totale Rittenplanningskosten</b>	<b>8260,04</b>
<b>Totale Kosten</b>	<b>21690,84</b>
Ladingsfactor	49%
Totale afstand (eenheid km)	3934,90
Totale duur (eenheid min)	17603,82

Bijlage 8: Resultaten Scenario één, situatie *constant demand*

Scenario 1, situatie <i>constant demand</i>	
Gemiddelde over de 10 instances	
<b>Voorraadsbeheerskosten:</b>	
Voorraadkosten	
Producten leverancier 1	1207,31
Producten leverancier 2	1384,30
Producten leverancier 3	1218,69
Producten leverancier 4	1085,54
Producten leverancier 5	1075,36
Orderkosten	
Producten leverancier 1	1344,00
Producten leverancier 2	1379,00
Producten leverancier 3	1356,00
Producten leverancier 4	1360,00
Producten leverancier 5	1354,00
<b>Totale Voorraadsbeheerskosten</b>	<b>12764,20</b>
<b>Rittenplanningskosten:</b>	
Operationele kosten	994,88
Emissie kosten	607,98
Geluidsoverlast kosten	276,36
Opstopingskosten	2708,30
Duurtijd kosten	9326,38
<b>Totale Rittenplanningskosten</b>	<b>13913,90</b>
<b>Totale Kosten</b>	<b>26678,10</b>
Ladingsfactor	17%
Aantal trips	100
Totale afstand (eenheid km)	5527,13
Totale duur (eenheid min)	31087,95



Bijlage 9: Resultaten Scenario één, situatie *varying demand*

<b>Scenario 1, situatie <i>varying demand</i></b>	
<b>Gemiddelde over de 10 instances</b>	
<b>Voorraadsbeheerskosten:</b>	
Voorraadkosten	
Producten leverancier 1	1261,44
Producten leverancier 2	1365,86
Producten leverancier 3	1214,04
Producten leverancier 4	1102,20
Producten leverancier 5	1082,77
Orderkosten	
Producten leverancier 1	1305,00
Producten leverancier 2	1367,00
Producten leverancier 3	1339,00
Producten leverancier 4	1351,00
Producten leverancier 5	1328,00
<b>Totale Voorraadsbeheerskosten</b>	<b>12716,31</b>
<b>Rittenplanningskosten:</b>	
Operationele kosten	965,99
Emissie kosten	590,33
Geluidsoverlast kosten	268,33
Opstopingskosten	2629,63
Duurtijd kosten	9180,22
<b>Totale Rittenplanningskosten</b>	<b>13634,49</b>
<b>Totale Kosten</b>	<b>26350,80</b>
Ladingsfactor	18%
Aantal trips	96
Totale afstand (eenheid km)	5366,59
Totale duur (eenheid min)	30600,73



Bijlage 10: Resultaten Scenario twee, situatie *constant demand*

Scenario 2, situatie <i>constant demand</i>	<i>Gemiddelde over de 10 instances</i>
<b>Voorraadsbeheerskosten deel 1:</b>	
Voorraadsbeheerskosten deel 1	0,00
<b>Rittenplanningskosten deel 1:</b>	
Rittenplanningskosten deel 1	3871,46
Aantal voertuigen	70
Ladingsfactor	24%
Totale afstand (eenheid km)	2049,67
Totale duur (eenheid min)	7234,11
<b>Voorraadsbeheerskosten deel 2:</b>	
Voorraadsbeheerskosten deel 2	12764,20
<b>Rittenplanningskosten deel 2:</b>	
Rittenplanningskosten deel 2	3217,12
Aantal bestelwagens	17
Aantal fietsen	22
Ladingsfactor	70%
Ladingsfactor fietsen	76%
Ladingsfactor bestelwagens	62%
Aantal trips fietsen	27
Aantal trips bestelwagens	17
Totale afstand fietsen	666,03
Totale afstand bestelwagens	633,03
Totale afstand (eenheid km)	1299,06
Totale duur (eenheid min)	8750,35
<b>Totale Voorraadsbeheerskosten</b>	<b>12764,20</b>
<b>Totale Rittenplanningskosten</b>	<b>7088,58</b>
<b>Totale Kosten</b>	<b>19852,78</b>
Ladingsfactor	47%
Totale afstand (eenheid km)	3348,73
Totale duur (eenheid min)	15984,46



Bijlage 11: Resultaten Scenario twee, situatie *varying demand*

Scenario 2, situatie <i>varying demand</i>	<i>Gemiddelde over de 10 instances</i>
<b>Voorraadsbeheerskosten deel 1:</b>	
Voorraadsbeheerskosten deel 1	0,00
<b>Rittenplanningskosten deel 1:</b>	
Rittenplanningskosten deel 1	3871,46
Aantal voertuigen	70
Ladingsfactor	24%
Totale afstand (eenheid km)	2049,67
Totale duur (eenheid min)	7234,11
<b>Voorraadsbeheerskosten deel 2:</b>	
Voorraadsbeheerskosten deel 2	12716,31
<b>Rittenplanningskosten deel 2:</b>	
Rittenplanningskosten deel 2	3067,78
Aantal bestelwagens	18
Aantal fietsen	20
Ladingsfactor	70%
Ladingsfactor fietsen	72%
Ladingsfactor bestelwagens	66%
Aantal trips fietsen	22
Aantal trips bestelwagens	18
Totale afstand fietsen	555,71
Totale afstand bestelwagens	663,65
Totale afstand (eenheid km)	1219,35
Totale duur (eenheid min)	8204,63
<b>Totale Voorraadsbeheerskosten</b>	<b>12716,31</b>
<b>Totale Rittenplanningskosten</b>	<b>6939,24</b>
<b>Totale Kosten</b>	<b>19655,55</b>
Ladingsfactor	47%
Totale afstand (eenheid km)	3269,02
Totale duur (eenheid min)	15438,74