



UHASSELT

KNOWLEDGE IN ACTION

Faculteit Bedrijfseconomische Wetenschappen

master in de handelswetenschappen

Masterthesis

Duurzame stadsdistributie: is dit mogelijk?

Meryem Ayaz

Scriptie ingediend tot het behalen van de graad van master in de handelswetenschappen, afstudeerrichting supply chain management

PROMOTOR :

Prof. dr. Stef MOONS



UHASSELT

KNOWLEDGE IN ACTION

www.uhasselt.be

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

2019
2020



Faculteit Bedrijfseconomische Wetenschappen

master in de handelswetenschappen

Masterthesis

Duurzame stadsdistributie: is dit mogelijk?

Meryem Ayaz

Scriptie ingediend tot het behalen van de graad van master in de handelswetenschappen, afstudeerrichting supply chain management

PROMOTOR :

Prof. dr. Stef MOONS

Vermelding: COVID-19

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

Woord vooraf

Deze masterproef is geschreven in het kader van mijn afstuderen aan de opleiding Handelswetenschappen aan de Universiteit van Hasselt. Het onderwerp 'Duurzame stadsdistributie: is dit mogelijk?' kadert in de afstudeerrichting Supply Chain Management. Mijn interesse in duurzaamheid is er reeds van jongs af aan. We hebben één kans op deze wereld en die moeten wij benutten om niet enkel onze generatie maar ook om de volgende vooruit te helpen.

Tot slot zou ik graag mijn promotor prof. dr. Stef Moons willen bedanken voor de begeleiding en motivering gedurende dit hele onderzoek. Ondanks de vele tegenslagen werd ik altijd gemotiveerd om door te zetten en kan ik met trots mijn masterproef voor u neerzetten.

Meryem Ayaz

Genk, 10 augustus 2020.

Samenvatting

De verstedelijking is een globale trend dat blijft toenemen. Meer dan 50% van de wereldbevolking leeft vandaag in grote steden (Schliwa, Armitage, Aziz, Evans, & Rhoades, 2015). Dit is te danken aan twee factoren, namelijk de stijging in populatie en de stijging in mensen die in steden gaan nederzetten. Er wordt geschat dat tegen 2050 het bevolkingspercentage in stedelijke gebieden zal stijgen tot 85% (United Nations & Social Affairs, 2018). Door deze hoge concentraties is er ook een grote nood aan stadsdistributie. Indien deze niet correct wordt gecoördineerd zal de hoeveelheid aan negatieve externaliteiten enkel toenemen. De toename in stadsdistributie resulteert in een stijging van uitstoot, congestie, luchtvervuiling, ongevallen, et cetera. Dit heeft een enorme impact op de inwoners van steden aangezien verkeersemmissies verantwoordelijk zijn voor 70% van de kankerverwekkende en andere schadelijke stoffen (Silva & Ribeiro, 2009). De infrastructuur van steden bereiken langzaam maar zeker hun maximum aan capaciteit door de toename in transport. Het oprichten en beheren van een efficiënte en duurzame stadsdistributie kan de negatieve gevolgen van verstedelijking wegwerken. Hiervoor zijn verschillende alternatieven. Om te onderzoeken of er hiervoor een duurzame oplossing is, wordt in deze masterproef volgende onderzoeksvraag beantwoord.

'Hoe kan stadsdistributie duurzaam gemaakt worden?'

Bovenstaande onderzoeksvraag wordt beantwoord door middel van een literatuurstudie van meerdere duurzame alternatieven en een empirisch onderzoek. De literatuurstudie is opgebouwd uit twee secties. In de eerste sectie worden de begrippen duurzaamheid en stadsdistributie gedefinieerd. In de tweede sectie worden de verschillende duurzame alternatieven besproken. Er werden in totaal vijf alternatieven voorgesteld. Elektrische voertuigen, lage-emissiezones, bikecargo, tramcargo en distributiecentra. Elk alternatief werd besproken aan de hand van casestudies om hieruit algemene kenmerken, voordelen en nadelen te kunnen formuleren.

Voor elektrische voertuigen kon geconcludeerd worden dat ondanks de overheidssteun, verminderde geluidsoverlast en emissies er nog steeds geen grootschalige implementatie is. Dit doordat de markt van elektrische voertuigen nog volop aan het ontwikkelen is, hierdoor is er onvoldoende differentiatie in het assortiment alsook weinig informatie over de bruikbaarheid van deze voertuigen. Het gebrek aan ondersteunende infrastructuur en de dure onderdelen spelen hier ook zeker een rol in. Voor het duurzaam alternatief van tramcargo kan vastgesteld worden dat indien er nog geen bestaande infrastructuur voor dit alternatief is, de investeringskosten veel te hoog zijn om een succesverhaal te realiseren. Ook is het zo dat er een tekort aan flexibiliteit is en de personenvervoer altijd voorrang krijgt. Lage-emissiezones kunnen dalen in emissies, geluidsoverlast, ongevallen en congestie teweegbrengen indien ze correct geïmplementeerd en gecontroleerd worden. Het is nog steeds zo dat er een gebrek is aan een grondig controlesysteem voor overtreders. Als voorlaatste alternatief werd de bikecargo besproken. De bikecargo heeft relatief lage onkosten en heeft dezelfde voordelen als de lage-emissiezones. Het is nog steeds een opkomende markt waarbij de grootste barrières het beperkte bereik is, de vermoeide koeriers, de lange oplaadtijden van e-bikes en de kleinere laadvermogens. Als laatste werd het duurzaam alternatief van consolideringscentra besproken. Het bundelen van goederen zorgt ervoor dat er verminderde emissies, geluidsoverlast, congestie, ongevallen, et cetera zijn. Ook is er een kostenbesparing voor de gebruikers van het

distributiecentrum. Toch zijn er een aantal barrières tot het oprichten van deze alternatief. Namelijk de hoge oprichtingskosten, de operationele complexiteit, betrouwbaarheidsproblemen tussen stakeholders alsook het verdelen van de kosten en baten. Deze laatste duurzame alternatief is hetgeen waarop gefocust wordt in het empirisch onderzoek.

In het empirisch onderzoek werd er aan de hand van een artificiële dataset, de impact van distributiecentra op de totaal afgelegde afstand en levertijd in verschillende scenario's onderzocht. Hierbij werd er gebruik gemaakt van het Vehicle Routing Problem Spreadsheet Solver. VRP is een applicatie in Excel dat gebruik maakt van een rittenplanningsalgoritme om de meest efficiënte routes te bepalen. Er zijn 5 hypothesen die getest worden aan de hand van deze scenario's.

De eerste hypothese heeft betrekking op de algemene effecten van distributiecentra, namelijk 'Het gebruik van een distributiecentrum brengt een daling in de totaal afgelegde afstand en tijd teweeg.'. Deze hypothese werd bevestigd in het onderzoek. Zonder distributiecentra optimaliseert elke leverancier zijn eigen routeplanning. Bij het gebruik van een DC wordt er naar het geheel gekeken waardoor er vermeden wordt dat twee voertuigen elkaar onnodig overlappen in routes. Het consolideren van goederen zorgt ervoor dat zowel de afstand alsook de levertijd verlaagd kunnen worden.

De tweede hypothese test indien de efficiëntie van een DC verbetert bij overlappende consumenten tussen leveranciers. Uit het VRP onderzoek werd geconfirmeerd dat de efficiëntie van een consolideringscentrum stijgt bij gemeenschappelijke klanten. Zoals eerder vermeld optimaliseert elke leverancier zonder DC zijn eigen routeplanning, indien twee leveranciers dezelfde consumenten bedienen zal eenzelfde consument meerdere keren bezocht worden door verschillende voertuigen. Dit kan makkelijk vermeden worden door middel van het consolideren van goederen.

De derde hypothese klinkt als volgt: 'De verhouding van de leveranciers ten opzichte van elkaar heeft een invloed op het verschil in afstand en tijd bij het gebruik van een distributiecentrum.'. In deze situatie werd er onderzocht indien de grootte van de leveranciers de functionaliteit van het distributiecentrum positief beïnvloed. Uit de data kon geconcludeerd worden dat het inderdaad zo is bij een situatie waarin er een grote en een kleine leverancier bediend wordt, het efficiënter is om een distributiecentrum te gebruiken dan wanneer er een gelijke verhouding is tussen de leveranciers. Dit komt doordat kleine leveranciers vaak met één of twee voertuigen al hun consumenten moeten belevaren. Hierdoor ontstaat meestal één grote gespreide route die overlapt met dat van andere leveranciers en één kleine route doordat alle goederen net niet in één voertuig gebundeld konden worden. Door het consolideren met grote leveranciers kan een daling in afgelegde afstand en levertijd bereikt worden.

Ook de geografische ligging speelt een grote rol in de efficiëntie van een distributiecentrum. Het is voordeliger een DC op te richten voor leveranciers die ver van elkaar gelegen zijn dan voor diegene die dichtbij elkaar gelegen zijn. Dit komt doordat verre leveranciers telkens terug moeten keren naar hun eigen depots. Door het gebruik van een distributiecentrum kunnen hun goederen gestockeerd worden bij een nabij gelegen depot en kan er een vermindering in levertijd en afstand vastgesteld worden.

De eerste vier hypothesen focusten zich vooral op de besparingen gemaakt in totaal afgelegde afstand en levertijd. De vijfde hypothese daarentegen focust zich op het effect dat een DC heeft op de capaciteitsbenutting van de voertuigen. Uit de resultaten kon vastgesteld worden dat er inderdaad een verbetering is in capaciteitsbenutting. Dit komt doordat er door het consolideren minder lege verplaatsingen en overlappingsen in routes zijn.

Op basis van de vaststellingen uit dit onderzoek kan geconcludeerd worden dat het gebruik van een distributiecentrum over alle scenario's heen voordeliger is in uitdrukking van afgelegde afstand, tijd en capaciteitsbenutting. Zoals elk onderzoek is ook deze masterproef onderworpen aan enkele limitaties. Zo wordt er in de literatuurstudie vijf duurzame alternatieven besproken maar is er in de empirische studie enkel één ervan onderzocht. In de VRP data is er enkel te werk gegaan met twee leveranciers en geen enkel rekening gehouden met het soort goederen. Er zijn een aantal assumpties waardoor het moeilijk is om de resultaten te generaliseren. Ook is er niet voldoende rekening gehouden met de kosten van een distributiecentrum. Dit komt vooral door de operationele complexiteit van distributiecentra. In toekomstig onderzoek kan er mogelijk rekening gehouden worden met de investeringskosten, verwerkingskosten, loonkosten en kosten van waarde toevoegende diensten.

Inhoudstabel

Woord vooraf	iii
Samenvatting.....	v
Inhoudstabel.....	ix
Lijst met Afkortingen	xii
Lijst met Figuren.....	xiii
Lijst met Tabellen	xiv
Hoofdstuk 1: Introductie	1
1.1 Probleemstelling	1
1.2 Onderzoeksvragen	3
1.3 Methodologie	4
Hoofdstuk 2: Literatuurstudie.....	5
2.1 Definities.....	5
2.1.1 Definiëring duurzaamheid	5
2.1.2 Definiëring stadsdistributie.....	6
2.2 Duurzame alternatieven.....	8
2.2.1 Elektrische voertuigen.....	8
2.2.2 Tram cargo	12
2.2.3 Lage emissie zone	15
2.2.4 Bikecargo.....	18
2.2.5 Urban consolidation centre.....	20
2.2.6 Samenvatting	24
Hoofdstuk 3: Empirisch onderzoek	25
3.1 Methodologie	25
3.1.1 Data	25
3.1.2 Doelstellingen.....	28
3.2 Resultaten.....	29
3.2.1 Hypothese 1	29
3.2.2 Hypothese 2.....	32
3.2.3 Hypothese 3.....	35
3.2.4 Hypothese 4.....	37

3.2.5 Hypothese 5.....	40
Hoofdstuk 4: Conclusie	43
Hoofdstuk 5: Limitaties en aanbevelingen voor verder onderzoek.....	45
Bronnen	46
Bijlagen.....	49
Bijlage 1: resultaten scenario's	49

Lijst met Afkortingen

CO₂: Koolstofdioxide

DC: distributiecentrum

EFV: Elektrisch vrachtvoertuig (*electric freight vehicle*)

EV: Elektrisch voertuig

ICE: *Internal combustion engine*

LEZ: Lage emissie zone

NO_x: Stikstofoxiden

PM₁₀: Fijn stof

PPP: *Public-private partnerships*

TCO: *Total cost of ownership*

TNS: *The natural step system*

UCC: *Urban consolidation centre*

WTP: *Willingness to pay*

Lijst met Figuren

Figuur 1: Stedelijke en landelijke populatie van de (a) wereld,1950-2050 en(b) de totale populatie in Europa (United Nations & Social Affairs, 2018).....	1
Figuur 2: Kader voor duurzame logistiek (vertaald uit Macharis et al. (2014)).....	6
Figuur 3: Heineken EFV in Rotterdam	8
Figuur 4: CarGoTram Dresden.....	12
Figuur 5: (a) Duits verkeersbord dat begin van LEZ aanduidt; (b) Duitse stickers die toegang verlenen tot LEZ's (Cruz & Montenon, 2015).....	16
Figuur 6: Londen's LEZ (Ellison, Greaves, & Hensher, 2013).....	17
Figuur 7: Cubicycle DHL.	18
Figuur 8: Werking UCC (aangepast uit Allen, Browne, Woodburn, and Leonardi (2014).	20
Figuur 9: Route basisscenario, instance 1, zonder UCC.	31
Figuur 10: Route basisscenario, instance 1, met UCC	31
Figuur 11: Routeplan scenario 1 zonder UCC.	33
Figuur 12: Routeplan scenario 1 met UCC.	34
Figuur 13: Routeplan scenario 2, zonder UCC.....	36
Figuur 14: Routeplan scenario 2 met UCC.	36
Figuur 15: Route situatie 2 zonder UCC.	39
Figuur 16: Route situatie 2 met UCC.	39

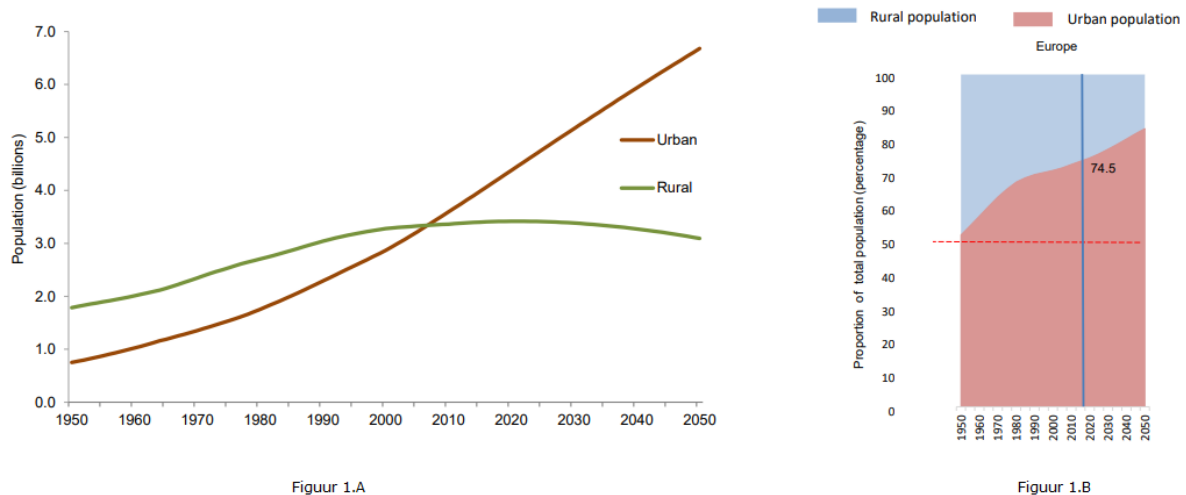
Lijst met Tabellen

Tabel 1: Onderzochte parameters van het Frevue project (www.frevue.eu, z.d.)	9
Tabel 2: Overheidsbeleid ter ondersteuning van EV (Quak & Nesterova, 2014)	11
Tabel 3: Voor- en nadelen vrachtttram in case studies (Jacyna & Szczepa, 2013; Marinov et al., 2013)	14
Tabel 4: Voor- en nadelen van (elektrische) bikecargos (Lia et al., 2014)	19
Tabel 5: Parameters ter evaluatie haalbaarheid UCC (Van Duin et al., 2010)	21
Tabel 6: Kritieke factoren succes UCC (Van Duin et al., 2010)	22
Tabel 7: Samenvatting duurzame alternatieven	24
Tabel 8: Coördinaten leveranciers	26
Tabel 9: Overzicht instances	26
Tabel 10: Doelstellingen onderzoek	28
Tabel 11: Besparingen basisscenario ligging leveranciers dichtbij elkaar	30
Tabel 12: Gemiddeld verschil in afstand en tijd, scenario 1	32
Tabel 13: Gemiddeld verschil in afstand en tijd, scenario 2	35
Tabel 14: Gemiddeld verschil in afstand en tijd, situatie 2	38
Tabel 15: Aantal ritten scenario 0	40
Tabel 16: Capaciteitsbenutting scenario 0	40
Tabel 17: Totaal gemiddelde capaciteitsbenutting	41
Tabel 18: Gemiddelde afstand en tijd scenario 0, situatie 1	49
Tabel 19: Aantal ritten scenario 0, situatie 1	49
Tabel 20: Capaciteitsbenutting scenario 0, situatie 1	49
Tabel 21: Gemiddelde afstand en tijd scenario 1, situatie 1	50
Tabel 22: Aantal ritten scenario 1, situatie 1	50
Tabel 23: Capaciteitsbenutting scenario 1, situatie 1	50
Tabel 24: Gemiddelde afstand en tijd scenario 1, situatie 1	51
Tabel 25: Aantal ritten scenario 2, situatie 1	51
Tabel 26: Capaciteitsbenutting scenario 1, situatie 1	51
Tabel 27: Gemiddelde afstand en tijd scenario 0, situatie 2	52
Tabel 28: Aantal ritten scenario 0, situatie 2	52
Tabel 29: Capaciteitsbenutting scenario 0, situatie 2	52
Tabel 30: Gemiddelde afstand en tijd scenario 1, situatie 2	53
Tabel 31: Aantal ritten scenario 1, situatie 2	53
Tabel 32: Capaciteitsbenutting scenario 1, situatie 2	53
Tabel 33: Gemiddelde afstand en tijd scenario 2, situatie 2	54
Tabel 34: Aantal ritten scenario 2, situatie 2	54
Tabel 35: Capaciteitsbenutting scenario 2, situatie 2	54

Hoofdstuk 1: Introductie

1.1 Probleemstelling

De Europese commissie (2014) stelt vast dat in Europa ongeveer 80% van de bevolking nabij of in een stad zal wonen tegen 2020. De verstedelijking is niet enkel een Europees maar een globale trend die vastgesteld wordt. Meer dan 50 % van de wereldbevolking leeft vandaag in grote steden (Schliwa et al., 2015). In 1950 woonde ongeveer 70 procent van de wereldbevolking op het platteland. De volgende decennia is er een geleidelijke overgang gebeurd naar de steden. In 2007 ontstond er een kantelpunt waarna de meerderheid van de wereldbevolking steeds meer in stedelijke gebieden gingen *settelen* (Figuur 1(a)). De groei in stedelijke bevolking is te wijten aan twee factoren. Ten eerste is er in het algemeen een totale groei in populatie en ten tweede is er een stijgende percentage van mensen die zich in steden gaan nederzetten. In Europa ligt het percentage bevolking in stedelijke gebieden al op 74% en wordt er geschat dat het tegen 2050 zal stijgen tot ongeveer 85% zoals afgebeeld in Figuur 1(b) (United Nations & Social Affairs, 2018).



Figuur 1: Stedelijke en landelijke populatie van de (a) wereld, 1950-2050 en (b) de totale populatie in Europa (United Nations & Social Affairs, 2018).

Door deze hoge concentraties van mensen heeft de stedsdistributie impact op de dagelijkse levens van ontelbaar veel mensen. Als deze niet goed gecoördineerd wordt, ontstaat er onnodig file en uitstoot van CO_2 (Savelsbergh & Van Woensel, 2016). Door deze hoge bevolkingsdichtheid ontstaat er meer competitie tussen ondernemingen en is er tendens om de kosten zoveel mogelijk te drukken. Ook bij het leveren van diensten wordt een steeds hoger dienstverleningsniveau verwacht. Dit resulteert op zijn beurt in nog meer goederen en diensten in steden (Macharis et al., 2014).

De toename van de populatie in grote steden zorgt voor toename in transport en uitstoot. Deze luchtvervuiling is niet enkel schadelijk voor de menselijke gezondheid maar ook voor gebouwen en milieu. Koolstofmonoxide (CO) is schadelijk in hoge concentraties zoals in steden en congestie (Demir, Huang, Scholts, & Van Woensel, 2015). Van de CO_2 -uitstoot van wegtransport is maar liefst

40% te danken aan het verkeer in steden (Savelsbergh & Van Woensel, 2016). Dit heeft een enorme impact op de inwoners van de stad aangezien verkeeremissies verantwoordelijk zijn voor 70% van de kankerverwekkende en andere gevaarlijke stoffen (Silva & Ribeiro, 2009). Er wordt steeds meer op dit fenomeen gefocust dankzij de doelstelling van de EU om tegen 2030 CO_2 neutrale stadsdistributie te bereiken in grote steden (Macharis et al., 2014).

Door de toename in transport nadert de infrastructuur zijn maximum aan capaciteit. Hieraan zijn volgens Bilbao-Ubillos (2008) vier grote kosten/verliezen gelinkt, namelijk:

- Tijdverlies;
- Toename van kosten door veroudering van voertuigen en extra brandstof- en olieverbruik;
- Kosten van ongevallen gelinkt aan congestie;
- Negatieve impact van congestie op economische activiteiten.

In Europa verliest men elk jaar 1% van het BBP aan dit fenomeen. Dit komt overeen met ongeveer 100 miljard euro (Savelsbergh & Van Woensel, 2016; Silva & Ribeiro, 2009). Het is moeilijk om een specifieke kost hieraan te verbinden aangezien er op tijd geen monetaire waarde geplakt kan worden.

De afgelopen jaren is de belangstelling voor de ecologische, economische en sociale effecten van stadsdistributie enorm gestegen. Ook met de *Climate Change Movement* was het onvermijdelijk dat de ecologische gevolgen van stadsdistributie ongemerkt zouden blijven. Burgers eisen steeds meer een leefbaar centrum waarin ze zich veilig en gezond kunnen voelen. Het is belangrijk dat steden hun burgers een dergelijk leefmilieu kunnen bieden zonder de toegang van goederen en diensten te verhinderen. Stedelijke mobiliteit en een efficiënt vervoersysteem spelen belangrijke sleutelrollen in de bevordering van duurzame stedelijke ontwikkeling en het behouden of zelfs versterken van de competitieve positie van dat stedelijk gebied (Schliwa et al., 2015).

Het beheren van een efficiënte en duurzame stadsdistributie kan een aantal van deze negatieve gevolgen van verstedelijking wegwerken. Een aantal definities zijn nodig om meer duidelijkheid te creëren. De term 'stadsdistributie' kent enkele omschrijvingen maar het komt neer op het vinden van efficiënte en effectieve manieren van goederentransport in stedelijke gebieden rekening houdend met de negatieve effecten van congestie, veiligheid en omgeving (Savelsbergh & Van Woensel, 2016). Voor de term 'duurzame ontwikkeling' wordt er vaak verwezen naar de definitie van de VN-commissie Brundtland Harlem (1987), namelijk ontwikkeling die aansluit op de behoeften van het heden zonder het vermogen van toekomstige generaties om in hun eigen behoeften te voorzien in gevaar te brengen.

Een belangrijke stakeholder in het vormen van een duurzaam systeem is de overheid. Door middel van wetgevingen en eventuele subsidies kunnen verschillende maatregelen genomen worden. In verschillende landen doen overheden dit al actief door bijvoorbeeld het invoeren van slimme kilometerheffing, het geven van vergunningen voor het gebruiken van laad- en loszones, et cetera. Voorbeelden hiervan zullen in de literatuurstudie besproken worden. Ook wordt er steeds meer gebruik gemaakt van lage emissiezones (LEZ) in gebieden waar luchtvervuiling slecht is geworden voor de gezondheid. Hierdoor wordt er getracht de luchtkwaliteit te verbeteren en het veiliger te maken om te ademen. In deze LEZ's wordt er getracht de meest vervuilende voertuigen te bannen,

dit houdt meestal in dat ze bepaalde gebieden niet mogen binnenrijden of een hoger bedrag moeten betalen om het wel te kunnen (Gonzalez-Feliu & Morana, 2010).

Het wegennetwerk bereikt langzaam maar zeker zijn maximale capaciteit. Het is dan ook noodzakelijk een duurzame oplossing hiervoor te vinden. In deze masterproef zal er getracht worden problemen in verband met stadsdistributie aan te kaarten alsook mogelijke oplossingen hiervoor. Er zal vooral gefocust worden op het gebruik van een *urban consolidation center* (UCC). Dit is een oplossing die steeds vaker gebruikt wordt voor het bundelen van goederen en het verminderen van vrachttransport in steden. Voor het empirisch gedeelte zullen er verschillende scenario's met of zonder UCC getest worden in Excel met de tool *VRP Spreadsheet Solver*. Hiermee zal er getracht worden de gevonden literatuur af te toetsen aan de resultaten bekomen uit de tool.

1.2 Onderzoeksvragen

Door de verstedelijking worden dagelijks miljoenen, zelfs miljarden mensen beïnvloed door de negatieve impact van stadslogistiek. Gezien het beduidende belang van stadsdistributie zijn er reeds verschillende studies over verschillende duurzame alternatieven. In de literatuurstudie zal getracht worden de meest voorkomende alternatieven te bespreken en de efficiëntie ervan om de centrale onderzoeksvraag '**Hoe kan stadsdistributie duurzaam gemaakt worden?**' te beantwoorden. Om de centrale onderzoeksvraag te kunnen beantwoorden zal gebruik gemaakt worden van deelvragen.

Vooraleer de duurzame alternatieven en de mogelijke hindernissen hiervan worden besproken, zal er getracht worden met de eerste deelvraag dieper in te gaan op de begrippen "duurzaamheid" en "stadsdistributie". Voor beide begrippen is er geen eenduidige definitie, elke studie definieert deze op een andere wijze. De meest voorkomende definities zullen samengevoegd worden om meer duidelijkheid te creëren. Concreet luidt de eerste deelvraag als volgt: 'Wat wordt er verstaan onder duurzame stadsdistributie?'

In de tweede deelvraag zal er onderzocht worden welke duurzame alternatieven reeds bestaan ter oplossing van de huidige problemen. Concreet zal de tweede deelvraag als volgt luiden: 'Welke duurzame oplossingen bestaan er reeds die tegemoet komen aan de negatieve effecten van stadslogistiek?'. Hierbij zullen voor elk alternatief de voor- en nadelen onderzocht worden. Er zullen ook gevalstudies aangehaald worden om de link met de praktijk vast te leggen.

Zoals eerder besproken in de probleemstelling zal de focus van de literatuurstudie naast een aantal duurzame oplossingen vooral liggen op het gebruik van een stadsdistributiecentrum. Hiermee zal er getracht worden de derde deelvraag te beantwoorden, namelijk: 'Wat zijn de voordelen van het gebruik van een UCC?'. Er zal onderzocht worden of de informatie gevonden in de literatuurstudie conform is aan de resultaten bekomen met behulp van experimenten met de VRP-tool.

1.3 Methodologie

Het onderzoek is opgedeeld in twee delen. Het eerste deel bestaat uit een literatuurstudie en het tweede deel bestaat uit een empirische studie. Op het einde van het onderzoek zal er op basis van deze twee delen een conclusie geformuleerd worden alsook aanbevelingen en een kritische reflectie op het onderzoek zelf.

Tijdens het eerste deel zal er vooral gefocust worden op wat er reeds gekend is over stadsdistributie. Dit zal helpen met het beantwoorden van de eerste twee deelvragen. De trends en opportuniteiten zullen uitgebreid aan bod komen. Stadslogistiek heeft de afgelopen decennia veel aandacht gekregen, zeker door de stijgende aandacht voor het milieu. Hiervoor zullen wetenschappelijke artikelen en boeken gebruikt worden die voorzien worden via de bibliotheek van de UHasselt. Ook zullen de lessen die gezien worden in de masteropleiding *Supply chain management* gehanteerd worden voor het aanvullen van de literatuurstudie.

Bij het gebruiken van wetenschappelijke artikelen zal er enkel artikelen gebruikt worden vanaf het publicatiejaar 2000. Door de steeds complexere systemen die ontstaan in steden en de snelle technologische ontwikkelingen is het van belang dat relevante bronnen gebruikt zullen worden. Er zullen verschillende zoektermen gehanteerd worden, hierin zullen er geen beperkingen opgelegd worden om zo veel mogelijk informatie te kunnen verzamelen over de verschillende alternatieven. In de literatuurstudie zal er voor elk alternatief getracht worden minstens 1 gevalstudie te bespreken. Hiermee wordt getracht de link tussen de theorie en de praktijk te kunnen leggen voor alle duurzame oplossingen. Indien er meerdere relevante gevalstudies gevonden kunnen worden zullen deze met elkaar vergeleken worden om de onderlinge verschillen tussen elke situatie te kunnen bespreken en te analyseren.

Voor het tweede deel van het onderzoek zullen er zoals reeds vermeld gewerkt worden met de VRP Spreadsheet Solver-tool in Excel. Er zullen drie verschillende scenario's getest worden met twee leveranciers waarin telkens het verschil in afgelegde afstand, tijd en kost bij het gebruik van een UCC besproken zullen worden. Het gebruik van de tool zal in Hoofdstuk 3 verder toegelicht worden.

Hoofdstuk 2: Literatuurstudie

Zoals reeds vermeld in de probleemstelling, zal de focus van het onderzoek het evalueren van duurzame oplossingen voor stadsdistributie zijn. Dit vereist de nodige achtergrondinformatie over de huidige situatie en uitdagingen van stadsdistributie. Daarnaast worden ook de opportuniteiten hiervan onderzocht. Bij elk alternatief zullen er relevante gevalstudies geëvalueerd worden waarmee de theorie en de praktijk aan elkaar afgetoetst zullen worden.

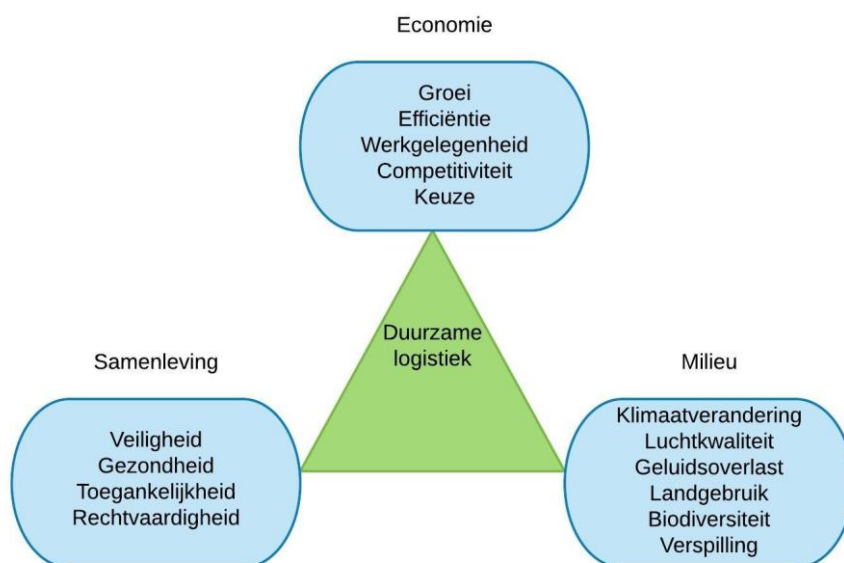
2.1 Definities

2.1.1 Definiëring duurzaamheid

Zoals eerder vermeld in de probleemstelling wordt er voor de term duurzaamheid/duurzame ontwikkeling vaak verwezen naar de definitie van Brundtland Harlem (1987), namelijk: "ontwikkeling die aansluit op de behoeften van het heden zonder het vermogen van toekomstige generaties om in hun eigen behoeften te voorzien in gevaar te brengen". Over de jaren heen heeft de term steeds meer aandacht verkregen, maar ook steeds meer definities. Hierdoor wordt de geloofwaardigheid van de term ondermijnt en word het gebruikt voor de zogenaamde *groenwassen* van bedrijven. Hiermee proberen bedrijven zich duurzamer voor te doen dan dat ze in werkelijkheid zijn. Duurzaam betekent oorspronkelijk dat een activiteit voor onbepaalde tijd voortgezet kan worden. Een eerste probleem met deze definitie is dat schadelijke processen van onbepaalde duur ook als duurzaam beschouwd kunnen worden (Johnston, Everard, Santillo, & Robèrt, 2007). Het is belangrijk dat er internationaal een systeem ontwikkeld wordt voor het evalueren of iets effectief duurzaam is of niet. *The Natural Step* (TNS) is een systeem dat dit soort eenduidigheid probeert te creëren. Het opzet hiervan is het vormen van een duurzame beleidsbeslissing (Upham, 2000). Het TNS-systeem heeft 4 principes:

1. Geen onherstelbare afbraak van de natuur;
2. De basisbehoeften van mensen niet belemmeren;
3. De fossiele brandstoffen niet uitputten;
4. Het evenwicht van de natuur niet verstoren met natuurvreemde stoffen.

Het is duidelijk dat het TNS-systeem een grote focus legt op de milieueffecten van logistiek. Om een compleet beeld te kunnen schetsen zal er ook op de economische en sociale invloeden gefocust worden. Hierbij komen de drie P's ter sprake namelijk: *People*, *Planet* en *Profit* (Macharis et al., 2014). Figuur 2 geeft een beter zicht op de wisselwerking tussen de drie componenten.



Figuur 2: Kader voor duurzame logistiek (vertaald uit Macharis et al. (2014)).

Hierbij wordt er bij het nemen van beslissingen rekening gehouden met alle aspecten waarop de activiteit effect zou kunnen hebben en kan er een kosten- en batenanalyse uitgevoerd worden. De meest voorkomende actuele problemen zoals besproken in de probleemstelling kunnen gelinkt worden aan *People* en *Planet*. Het is namelijk voor bedrijven nog steeds zo dat de economische winst doorweegt op alle beslissingen. Een denkwijze die dringend veranderd moet worden.

2.1.2 Definiëring stadsdistributie

Bij het zoeken naar een duurzame oplossing is het belangrijk om te weten wat stadsdistributie exact inhoudt en wie de belangrijkste belanghebbers zijn in dit proces waarmee rekening gehouden moet worden. Het is namelijk een complex systeem met verschillende spelers die elk een ander doel voor ogen hebben. In het onderzoek van Taniguchi, Thompson, en Yamada (2014) wordt stadsdistributie als volgt gedefinieerd: "Het proces van volledige optimalisering van de logistieke activiteiten van particuliere ondernemingen met ondersteuning van geavanceerde informatiesystemen in stedelijke gebieden, rekening houdend met de verkeersomgeving, congestie, verkeersveiligheid en de energiebesparingen in het kader van markteconomie.". Merk op dat in deze definitie enkel rekening gehouden wordt met logistieke activiteiten van particuliere ondernemingen. In praktijk moet echter rekening gehouden worden met een aantal spelers zoals vrachtwagens, particuliere en openbare voertuigen. Dit leidt op zijn beurt tot congestie, geluidsoverlast, emissies et cetera. Zonder de nodige veranderingen zullen deze problemen enkel verergeren. Het aantal verplaatsingen van vrachtwagens in steden neemt namelijk gestaag toe (Crainic, 2008). Hier zitten een aantal drijvende factoren achter zoals de toename van snelle leveringen, lage voorraden, verstedelijking, et cetera (Crainic, 2008; Savelsbergh & Van Woensel, 2016). In veel onderzoeken wordt er dan ook geopteerd dat het noodzakelijk is om een geïntegreerd systeem met publieke en particuliere samenwerkingen (*public-*

private partnerships) te vormen om een duurzame oplossing te kunnen vinden (Crainic, 2008; Savelsbergh & Van Woensel, 2016; Silva & Ribeiro, 2009; Taniguchi et al., 2014).

2.2 Duurzame alternatieven

Ondanks dat stadsinwoners het meest beïnvloed worden door de effecten van stadsdistributie, ligt de oplossing voornamelijk in handen van private ondernemingen en de overheid. Iedere onderneming optimaliseert de eigen operationele planning waarbij er vaak verschillende leveranciers in dezelfde straat verschillende winkels langsgaan met halfvolle wagens. Ook de overheid kan helpen duurzame oplossingen te stimuleren met financiële maar ook niet-financiële steun.

2.2.1 Elektrische voertuigen

Het gebruik van elektrische voertuigen (EV) brengt tal van voordelen met zich mee. De meest voor de hand liggende is natuurlijk dat er geen luchtvervuiling plaatsvindt bij het gebruik ervan, maar ook de brandstof- en onderhoudskosten liggen beduidend lager. Ook de daling in geluidsoverlast bij een veeltallige implementatie brengt vele voordelen met zich mee. Zo kunnen er bijvoorbeeld ook 's avonds leveringen gedaan worden zonder verstoring van de rust. Hierbij komt dat het gebruik van milieu- en omgevingsvriendelijke wagens voor een goed imago bij consumenten zorgt (Quak & Nesterova, 2014). Als casestudie zal het Frevue Project besproken worden, oftewel *The Validating Freight Electric Vehicles in Urban Europe* project. Dit werd gesteund door de Europese Commissie om aan te tonen dat het gebruik van elektrische vrachtoertuigen in stadsdistributie een succes kan zijn. Het is een project dat begonnen is in maart 2013 en liep tot september 2017 en in totaal 4,5 jaar tijd in beslag genomen heeft. Het project werd uitgevoerd in acht van de grootste steden van Europa, nl. Amsterdam, Lissabon, Londen, Madrid, Milaan, Oslo, Rotterdam en Stockholm. In Figuur 3 kan een voorbeeld teruggevonden worden van een elektrisch vrachtoertuig gebruikt door het bedrijf Heineken in Rotterdam. Het Frevue project is een grootschalig onderzoek dat ons algemene bevindingen aanbiedt over het gebruik van elektrische voertuigen aangezien het momenteel nog niet grootschalig geïmplementeerd wordt door bedrijven.



Figuur 3: Heineken EFV in Rotterdam

De algemene doelstelling van het project was het voorzien van data als bewijs dat het invoeren van elektrische vrachtvoertuigen (*Electric Freight Vehicles*, EFV) door logistieke bedrijven veel voordelen met zich kan brengen. Alsook het stimuleren van beleidsinterventies ter bevordering van het gebruik van EFV's voor stadsleveringen. In totaal werd er gebruik gemaakt van 12 verschillende voertuigen in een totale vloot van 86 EV. De impact die het onderzoek heeft vastgesteld werd vastgesteld op 5 verschillende vlakken. Deze zijn opgesomd in Tabel 1 met enkele toebehorende parameters. Zo werd er gefocust op de technische geschiktheid van EFV door middel van het beoordelen van de batterijprestaties maar ook de doeltreffendheid van de verschillende oplaadsystemen (www.frevue.eu, z.d.).

Tabel 1: Onderzochte parameters van het Frevue project (www.frevue.eu, z.d.).

Technische geschiktheid	Gedragsmatig en sociale impact	Economische geschiktheid	Overheid en stakeholders	Milieu-impact
Batterijprestaties in reële verkeersomstandigheden	Reactie en acceptatie van logistieke operatoren	Financiële en sociale kosten-baten analyse voor logistieke operatoren	Welke voorwaarden zijn (on-)gunstig voor gebruik van EV	Impact op luchtkwaliteit
Doeltreffendheid en impact van de verschillende oplaadsystemen	Veranderingen in routes en rijstijl van bestuurders	Toekomstige aankoopintenties en willingness to pay (WTP) van logistieke operatoren	Primaire ervaringen met de samenwerking tussen verschillende belanghebbenden	Impact op veiligheid van weggebruikers
Efficiëntie van leveringen en succespercentage	Impact op het door de klant ervaren serviceniveau	Leasing en eigendoms-modellen	Primaire beleidsmaatregelen waarmee overheid invoering van EV kan ondersteunen.	Impact op geluidsoverlast

Uit de algemene resultaten konden afgeleid worden dat de EFV's technisch geschikt zijn voor de logistieke operaties die ze uitvoeren. Voor de prestatie van de batterijen werd er rekening gehouden met een aantal factoren, zo werd er onderzocht en vastgesteld dat het verschil in temperatuur geen drastische tekortkomingen in de prestaties van de EFV's veroorzaakt alsook niet de snelheid waarmee gereden wordt. De voertuigen werden dagelijks gemiddeld 7,2 uur gebruikt en konden 52,4 km afleggen. Het gemiddelde bereik voor de batterijen met één oplaadbeurt was 124 km. Het was opmerkelijk dat dit bereik het 20% beter deed in zomermaanden dan in wintermaanden. De meeste technische problemen kwamen voor bij de kleine en middelgrote vrachtvoertuigen. Zo waren kleine vrachtvoertuigen (<3,5 ton) het meest gevoelig voor temperatuurverschillen, terwijl de zwaarste

voertuigen (>12 ton) juist het minst beïnvloed werden hierdoor. Ook moesten de kleine en middelgrote voertuigen regelmatig opgeladen worden en hadden ze een beperkte range. Hierin kan de overheid helpen door een snelle oplaadinfrastructuur aan te leggen. Doordat de huidige EV reeds goed presteert, is er een verwachting dat de toekomstige nieuwe generatie EV nog beter zullen opereren (Quak, Koffrie, Rooijen, & Nesterova, 2017).

Een *internal combustion engine* (ICE-voertuig) stoot CO₂ en stikstofoxiden (NO_x) uit wat bijdraagt tot de broeikasgassen en de opwarming van de aarde. Daarbij komt er ook fijnstofuitstoot bij auto's door de uitlaat. Volgens het Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu (RIVM) in Nederland zijn er drie effecten op de menselijke gezondheid door fijn stof. De blootstelling aan fijn stof leidt tot het optreden van nadelige gezondheidseffecten, verkort de gemiddelde levensduur met een jaar in Nederland en door langdurige blootstelling ontstaat er een verergering in reeds bestaande ziekten, zoals hart-, long- en vaatziekten (Buijsman et al., 2013). Uit het project bleek dat er besparing ontstond van 2147,5 kg NO_x en 72,2 kg fijne stof (in dit geval PM10). Er werd ook vastgesteld dat indien er in Londen 10 procent van alle vrachtoertuigen elektrisch zouden zijn tegen 2021 dit zou resulteren in een maximale jaarlijkse CO₂ besparing van 2,8 miljoen ton, NO_x-besparing van 402 ton en een PM10-besparing op de uitlaatgassen van 3,8 ton (Quak et al., 2017).

Economisch gezien is er nog steeds een barrière voor het grootschalig implementeren van EFV's door de hoge aankoopkosten. Logistieke operatoren letten vooral op de Total Cost of Ownership (TCO) van rollend materieel. Uit de data kan afgeleid worden dat de kleine EFV's een lagere TCO kunnen bereiken binnen de 5 jaar van aankoop dan ICE-voertuigen. Voor medium en grote vloten is dit nog onzeker. Niet alleen de hoge aankoopkosten maar ook het gelimiteerde bereik en capaciteit weerhoudt logistieke managers van het aankopen van EFV's, in afwachting van betere producten in de toekomst (Quak et al., 2017).

Het succes van EV ligt voor een groot deel bij de overheid. De overheid kan door middel van financiële of legale middelen het gebruik van EV stimuleren en dat van conventionele voertuigen demotiveren. In Tabel 2Tabel 1 zijn een aantal voorbeelden hiervan opgesomd. Financieel kan de overheid steun bieden door het voorzien van een aankoopsubsidie voor bedrijven die EFV's in gebruik nemen maar ook een vrijstelling van de taks bij de voertuigregistratie. Maar ook niet-financieel kan de overheid EV's promoten door bijvoorbeeld voordelige parkeerplaatsen en toegang tot beperkte snelwegen of bus stroken. Een strengere methode is het demotiveren van brandstof voertuigen door hogere parkeerkosten en belastingen aan te rekenen. Maar ook niet-financiële beperkingen kunnen opgelegd worden zoals het invoeren van lage emissiezones en tijdsvensters, dit zijn twee duurzame alternatieven die we in dit hoofdstuk nader zullen bespreken. In Vlaanderen wordt hier actief aan gewerkt voor zowel particulieren als bedrijven door middel van verminderde belastingen en premies (www.vlaanderen.be, z.d).

Tabel 2: Overheidsbeleid ter ondersteuning van EV (Quak & Nesterova, 2014).

	<i>Financieel</i>	<i>Niet-financieel</i>
<i>Elektrische voertuigen promoten</i>	Aankoopsubsidie Vrijstelling van voertuigregistratie taks Korting op tol- en parkingtarieven	Voordelige parkeer plaatsen Toegang tot beperkte snelwegen of bus stroken
<i>Beperking Brandstof voertuigen</i>	Hogere parkeerkosten Hogere belastingen	Lage emissiezones Tijdsvensters

Ondanks de vele voordelen van EV ontbreekt er nog steeds grootschalige implementatie. Dit komt doordat ondernemingen nog steeds meer gefocust zijn op korte termijn dan op lange termijn. Dit komt doordat er nog veel onzekerheid is in de markt van elektrische voertuigen. De grootste uitdagingen zijn namelijk op technisch, economisch en operationeel vlak (Quak & Nesterova, 2014).

De meest kritische factor is dat er een gelimiteerd aanbod is van *Original Equipment Manufacturers* (OEMs) vooral voor medium en grote vloten. De batterij van een EV blijft ook een van de grootste uitdaging. Het bereik dat beloofd wordt door producenten is vaak niet haalbaar. Hierbij komt ook nog eens kijken dat er een tekort is aan oplaadstations. Het is noodzakelijk dat de infrastructuur wijzigt en voldoende oplaadpunten beschikbaar gesteld worden. Het vervoeren van grote en/of zware volumes is een van de meest belangrijke operationele uitdagingen. Hier komt ook nog eens bij dat lange afstand ritten ook nog steeds onhaalbaar zijn (Nesterova, Quak, Balm, Roche-Ceraso, & Tretvik, 2013). Doordat de markt nog relatief nieuw is, is er nog niet veel differentiatie in het assortiment en is de ondersteuning in geval van panne ook nog tekortkomend. Door de stijgende brandstofkosten en verbetering van batterijen stappen steeds meer bedrijven over op elektrische voertuigen maar zijn er nog velen die blijven afwachten (Juan, Mendez, Faulin, De Armas, & Grasman, 2016). Dit omdat men anticipeert dat er steeds betere modellen zullen uitkomen en men niet in een oud model wilt investeren. Er is namelijk ook onvoldoende kennis over de restwaarde en tweedehands markt van EV's (Quak & Nesterova, 2014).

2.2.2 Tram cargo

Tram cargo oftewel een vrachtram is een tram die goederen transporteert binnen een stad. De meest bekende vrachtram is de *CarGoTram* in Dresden, Duitsland (Figuur 4). Deze vervoert auto-onderdelen tussen de stad en een goederenterminal (Strale, 2014). Er zullen verschillende gevalstudies besproken worden in dit onderdeel omdat de vrachtram voor elke stad een andere vorm aanneemt omwille van de bestaande infrastructuur in steden. Hiermee zal er getracht gelijkenissen alsook de verschillen onderling te kunnen bespreken, waarom sommige gevallen succesvol zijn en andere dan weer niet.



Figuur 4: CarGoTram Dresden.

De vrachtram verhelpt veel problemen van de huidige stadsdistributie-netwerken zoals congestie en luchtvervuiling. Indien in een stad reeds een UCC aanwezig is, kan er een verbinding gemaakt worden met de tram. Er zijn al verschillende initiatieven in Europa, waarvan enkele nog in ontwikkelingsfasen zitten.

Dresden, Duitsland

De vrachtram werd opgericht door het privébedrijf Volkswagen en had geen hoge investeringskosten. Dit is vooral te danken aan het feit dat er maar één verbinding nodig was en er gedeeltelijk gebruik gemaakt wordt van het openbare spoorwegnet. Volkswagen moest uiteindelijk enkel het eindstation bouwen in het logistiek centrum vier kilometer verderop (Jacyna & Szczepa, 2013). Transport via spoorwegen is een traditie die al een eeuw plaatsvindt in Dresden waardoor er reeds een goed ontwikkelde spoorwegnet beschikbaar was (Strale, 2014). Het systeem dat Volkswagen gebruikt is een succes maar kan niet in elke stad geïmplementeerd worden. De twee belangrijkste voordelen aan het gebruik van de vrachtram is de vermindering van emissies en congestie. Elke tramreis van 15 minuten staat equivalent aan drie vrachtwagens in het stadscentrum (Marinov et al., 2013).

Parijs, Frankrijk

In Parijs wordt er voor de winkelketen Monoprix goederen getransporteerd via het spoor sinds 2007. Bij aankomst aan het leverpunt worden deze overgezet op LPG voertuigen die deze naar de eindbestemming vervoeren. Dankzij de vrachtttram is er een daling van 47 procent CO₂, 56 procent NO_x en 36 procent minder fijne stoffen per jaar. Het grootste probleem dat men zover heeft ondervonden zijn de hoge investeringskosten voor de terminal en een stijging in variabele kost per pallet (Marinov et al., 2013).

Amsterdam, Nederland

Het doel van de vrachtttram in Amsterdam was het halveren van het aantal vrachtvoertuigen in het stadscentrum en luchtvervuiling met 20% verminderen (Marinov et al., 2013). Alles verliep goed tijdens de testfase, er werd gebruik gemaakt van spoorinfrastructuur dat voor personenvervoer gebruikt wordt. Na de testfase werd vastgesteld dat er geen negatieve impact uitgeoefend werd op het personenvervoer en begon men goederen te vervoeren. De goederen werden aan het uitlaadpunt overgedragen op elektrische voertuigen en werden naar de eindbestemming vervoerd. Uiteindelijk is het project failliet gegaan door een tekort aan financiële middelen en planning (Marinov et al., 2013; Strale, 2014; Van Duin, Wiegmans, Tavasszy, Hendriks, & He, 2019).

Zürich, Zwitserland

De vrachtttram werd in 2003 in Zürich als oplossing voorgesteld voor de significante problemen in verband met sluikestorten van vooral grof vuil. De stad zelf heeft geen ringweg waardoor er vaak congestie ontstaat binnen de stad en vuilniswagens stil komen te zitten. Tussen de jaren 1996 en 1997 had zich in Zürich 3.000 ton illegaal sluikestort verzameld. Door het herstellen van een oude tramweg investeerde de overheid 32.000 euro voor het gebruik van de tramcargo als vuilniswagen. Dankzij dit project daalde het aantal ton sluikestort tot 1.200 in 2004 alleen al en wordt er jaarlijks 37.500 liter diesel bespaard. Alsook een daling van 4.911,3 kg CO₂ en 80,6 kg NO_x (Jacyna & Szczepa, 2013; Marinov et al., 2013; Neuhold, 2005). Tegenwoordig gebeuren de gratis ophaaldiensten van grof vuil bijna dagelijks.

Brussel, België

In Brussel wordt er getracht een cargo tram te implementeren, de ligging van de stad is namelijk een belangrijke troef. Het Brussels Hoofdstedelijk gewest is goed aangesloten op een uitgebreid spoornetwerk en trekt een grote consumentenmarkt aan. Dit brengt opportuniteiten met zich mee zoals Europese steun voor de stadsdistributie en verbeteringen in leefomgeving indien het geïmplementeerd kan worden. Brussel is het meest gecongestioneerde gebied van Europa. Het stedelijk goederenverkeer is verantwoordelijk voor 30 procent van de stedelijke broeikasgasemissie veroorzaakt door transport, desondanks dat goederenvervoer slechts 6% in het totale wegverkeer vertegenwoordigd (Mobiliteit, 2013). De ontwikkelingskosten voor stedelijke distributie via de tram zijn nog veel te hoog. Er is nood aan bijkomende infrastructuur die de goederen naar hun eindbestemming kunnen vervoeren, wat niet altijd mogelijk is omwille van de smalle straten. Voor het kunnen slagen van de vrachtttram in Brussel is het noodzakelijk dat er een grondige analyse

plaatsvindt van de vrachtram, de vrije capaciteit van het spoornetwerk en de nodige infrastructuur investeringen (Strale, 2014).

Conclusie gevalstudies

Het implementeren van een vrachtram gebeurt niet altijd even makkelijk. Uit de cases kan afgeleid worden dat het noodzakelijk is dat er reeds een spoorinfrastructuur aanwezig is waaraan men kan aansluiten. Indien dit niet zo is, worden de investeringskosten veel te hoog. Een andere uitdaging is dat het spoor inflexibel is en geen leveringen aan deur kan uitvoeren (Marinov et al., 2013). Dit zorgt ervoor dat er bijkomend laad- en loszones gebouwd moeten worden en er nog steeds een verplaatsing tot de eindbestemming moet uitgevoerd worden. Hiervoor kunnen elektrische voertuigen ingezet worden om de uitstoot te minimaliseren.

De resultaten uit de vier casestudies worden samengevat in Tabel 3 (Jacyna & Szczepa, 2013; Marinov et al., 2013; Strale, 2014).

Tabel 3: Voor- en nadelen vrachtram in case studies (Jacyna & Szczepa, 2013; Marinov et al., 2013).

<i>Case study</i>	<i>Voordelen</i>	<i>Nadelen</i>
<i>Dresden</i>	Daling in emissies en congestie Makkelijke laden en afladen Lage investeringskost	Tekort aan flexibiliteit
<i>Parijs</i>	Daling in emissies en congestie Sneller dan vrachtvoertuig	Hoge investeringskost voor terminal
<i>Amsterdam</i>	Daling in emissies en congestie Geen vertraging in personenverkeer Efficiëntie Promotie van nieuwe technologieën	Lang terugverdientijd Geen effectieve financiële planning
<i>Zürich</i>	Daling in emissies en congestie Lage investeringskosten Geen rollend materieel investering Positief onthaal door inwoners	Beperkt gebruik Handmatig laden

2.2.3 Lage emissie zone

Lage-emissiezones, ook wel milieuzones genoemd, zijn gebieden waarin de meest vervuilende voertuigen gereguleerd worden. Vaak betekent dit dat voertuigen met een grote emissie deze gebieden niet binnen mogen rijden. Soms is het wel toegestaan dat deze voertuigen deze gebieden mogen betreden maar dan moeten ze hier een bedrag voor betalen. Deze zones worden geïmplementeerd in gebieden waar de luchtvervuiling schadelijk is voor de gezondheid, dankzij de implementatie kan de luchtkwaliteit verbeteren en een veilige leefomgeving gecreëerd worden. Luchtvervuiling zorgt voor grote kosten zowel in gezondheid als in monetaire waarde. Wereldwijd draagt de luchtvervuiling bij tot 7,6 procent van alle sterftegevallen in 2016 en 91 procent van de wereldbevolking leeft in gebieden waar de luchtkwaliteit de grenswaarden van de WHO- richtlijnen overschrijdt (www.who.int, 2016).

Het aantal doden veroorzaakt door de slechte luchtkwaliteit is groter dan het aantal door verkeersongevallen. Dit maakt het de primaire oorzaak van vroegtijdige sterfte in de Europese Unie. De Europese Commissie probeert dit te verminderen door het invoeren van nieuwe maatregelen om de luchtverontreiniging terug te dringen. Dit doen ze door middel van emissieplafonds en het invoeren van luchtkwaliteitsnormen. Emissieplafonds zijn bovengrenzen voor de totale uitstoot van bepaalde luchtvervuilende stoffen die de lidstaten moeten behalen. De EU-luchtkwaliteitsnormen zijn lokale concentratiegrenswaarden voor de luchtvervuilende stoffen die het meest schadelijk zijn voor de gezondheid, deze moeten door iedereen nageleefd worden. De directe kosten ten gevolge van luchtvervuiling inclusief de schade aan gewassen en gebouwen, bedragen ongeveer 23 miljard euro per jaar (ec.europa.eu, 2013). Deze richtlijnen van de EU kunnen behaald worden door middel van zowel lokale als nationale projecten.

Hiervoor zullen twee casestudies besproken worden. In Londen werd er lokaal besloten een milieuzone te implementeren terwijl in Berlijn dit werd opgelegd door de Duitse federale overheid. De overheid zelf beslist welke voertuig categorieën een milieuzone binnen kunnen rijden op basis van de Europese emissienormen. Er zijn twee manieren waarop de naleving van de milieuzones gecontroleerd kunnen worden. Namelijk via zichtbare stickers, zoals in Duitsland wordt gedaan, oftewel via camerabewaking, zoals in Londen gedaan wordt (Figuur 5). De stickers die gebruikt worden in Duitsland kunnen verkregen worden bij de overheid. De kleur en het cijfer geeft informatie over de euronorm waartoe het voertuig behoort (Cruz & Montenon, 2015).

a.



b.

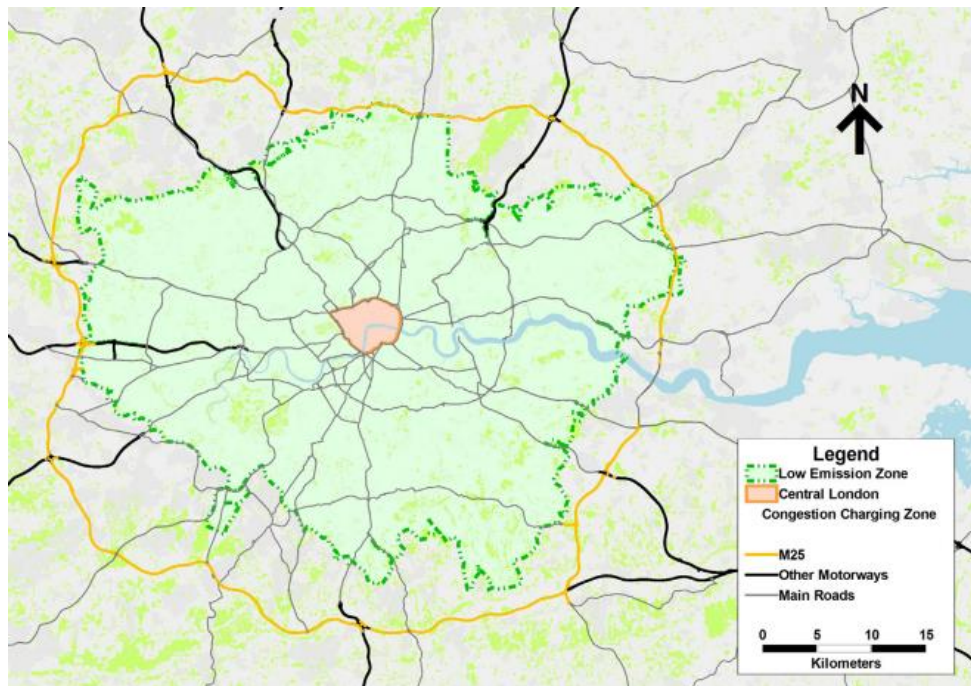


Figuur 5: (a) Duits verkeersbord dat begin van LEZ aanduidt; (b) Duitse stickers die toegang verlenen tot LEZ's (Cruz & Montenon, 2015).

Ook in België zijn er reeds enkele milieuzones geïmplementeerd om de Europese normen te kunnen naleven, namelijk in Antwerpen, Brussel en Gent. Elke stad of gemeente bepaalt zelf welke euroklassen en brandstoftypen de LEZ mogen betreden. Hiervoor moet er voor elke LEZ apart geregistreerd worden, dit wordt gecontroleerd door middel van intelligente *automatic number plate recognition* camera's (ANPR). Indien deze richtlijnen overtreden worden, wordt dit gepenaliseerd met een boete van 350 euro (www.lez-belgium.be, z.d.). Een soortgelijk systeem wordt toegepast in Londen, dit wordt ondersteund door de vereniging 'Transport for London'.

Londen, Verenigd Koninkrijk

De LEZ werd in verschillende fases geïntroduceerd in Londen. De LEZ stelt minimale emissienormen op voor zware voertuigen in heel Londen (Figuur 6) en is 24/7 geldig (Broaddus, Browne, & Allen, 2015). De introductie van de LEZ heeft ertoe geleid dat de samenstelling van de logistieke vloot significant is veranderd. Het vervangingspercentage voor oudere voertuigen steeg alsook een daling in uitstoot werd vastgesteld. Uitstoot van PM₁₀ werd verminderd met 1,9 procent wat resulteert in een daling van 28 ton en de uitstoot van NO_x werd verminderd met 2,4 procent wat overeenkomt met een daling van 26 ton (www.nl.urbanaccessregulations.eu, z.d.). Doordat het enkel een lokale actie is konden bedrijven hun voertuigen verplaatsen naar andere delen van het land en de voertuigen die aan de restricties voldoen gebruiken in Londen. Logistieke operatoren proberen het aankopen van nieuwe voertuigen zo veel mogelijk te minimaliseren, hierdoor blijven de vervuilende voertuigen operationeel in andere delen van het land (Cruz & Montenon, 2015).



Figuur 6: Londen's LEZ (Ellison, Greaves, & Hensher, 2013).

Berlijn, Duitsland

In Duitsland werd een nationaal plan ingezet om over het heel land heen verschillende LEZ's te implementeren. Dit zorgde ervoor dat het probleem dat zich in Londen voordeed, namelijk dat bedrijven hun voertuigen herpositioneren in het land, verminderd kon worden. Dit zorgde er wel voor dat logistieke operatoren hun voertuigen gingen verkopen in nabijgelegen landen waarin er geen restricties opgelegd worden, zoals bijvoorbeeld Polen. De LEZ's promoten het vernieuwen van de vrachtvloot van bedrijven. Een probleem dat zich wel voordeed in Duitsland is dat er onderling tussen de verschillende steden niet genoeg communicatie heerste over de richtlijnen. Ook was het zo dat er onvoldoende tijd gegeven werd voor logistieke operatoren om zich aan te passen aan de wetgeving. In Duitsland werd na de implementatie vastgesteld dat er een daling is in dieseluitleatgassen met 60 procent en een daling van 20 procent in NO_x. De belangrijkste conclusies waren dat een LEZ effectief en efficiënt kan werken indien het gebied groot genoeg is, er ambitieuze emissienormen zijn, het op tijd geïntroduceerd wordt en indien er beperkte vrijstellingen zijn van de LEZ (Lutz, 2014).

2.2.4 Bikecargo

Door de gemakkelijke vergelijkingen tussen prijzen en aanbod worden er steeds meer online bestellingen geplaatst. De stijging van e-commerce samen met de verstedelijking zorgt ervoor dat er steeds meer en kleinere leveringen uitgevoerd worden. Hierdoor groeit de vraag naar het goederentransport nog meer, hierdoor ontstaat er een toename van kleine bestelwagens in stadscentra. De overheid probeert dit te bestrijden door middel van restricties zoals lage emissie zones oftewel opleggen van hoge taksen. Maar ook duurzame alternatieven kunnen aangemoedigd worden door de overheid zoals de bikecargo. De bikecargo, oftewel gekend als cargofiets of vrachtfiets, is een vervoermiddel dat steeds meer wordt ingezet door bedrijven in drukke stadscentra. Het is een duurzaam alternatief dat een aantal problemen van stadslogistiek aanpakt, zoals geluidsoverlast, uitstoot en congestie. Ook worden er reeds elektrische cargofietsen uitgetest. Zo is DHL begonnen met het uittesten van de 'cubicycle' in Antwerpen. Volgens de website van DHL is een *cubicycle*: "een elektrische cargofiets met vier wielen uitgerust met een container die tot 125kg goederen kan vervoeren en uiteraard ten allen tijde afgesloten is zodat de pakjes veilig gestockeerd zijn" (www.dhl.com, 2019). Een voorbeeld hiervan is terug te vinden in Figuur 7. In meer dan 80 steden gebruik DHL Express de cargofiets als duurzame oplossing. DHL is niet het enig bedrijf dat deze vervoersmiddel gebruikt.



Figuur 7: Cubicycle DHL.

Er kunnen een aantal voor- en nadelen vastgesteld worden bij het gebruik van elektrische en non-elektrische fietscargo. Deze kunnen samengevat teruggevonden worden in Tabel 4. Een eerste voordeel aan de cargofiets alsook een nadeel is dat het enkel pakketjes kan leveren en geen paletten (Melo & Baptista, 2017). Het voordeel hieraan is dat het ideaal is voor het vervoeren van B2C-pakketten. Zoals eerder vermeld ontstaat er door de stijging in e-commerce een grotere vraag naar frequente en kleinere leveringen. De cargofiets kan hiervoor de kleine bestelwagens in stadscentra

vervangen. De grootte en het gewicht van de vervoerde goederen zijn redelijk klein en de reisafstand redelijk kort vergeleken met bestelwagens. Hierdoor is het noodzakelijk een consolidatiecentrum te kunnen raadplegen, dit brengt investeringskosten met zich mee (Melo & Baptista, 2017). Een tweede voordeel zijn de lage aankoop- en onderhoudskosten van elektrische fietsen vergeleken met ICE-voertuigen, alsook de belastingen en verzekeringen (Lia, Nocerino, Bresciani, COLORNI VITALE, & Luè, 2014).

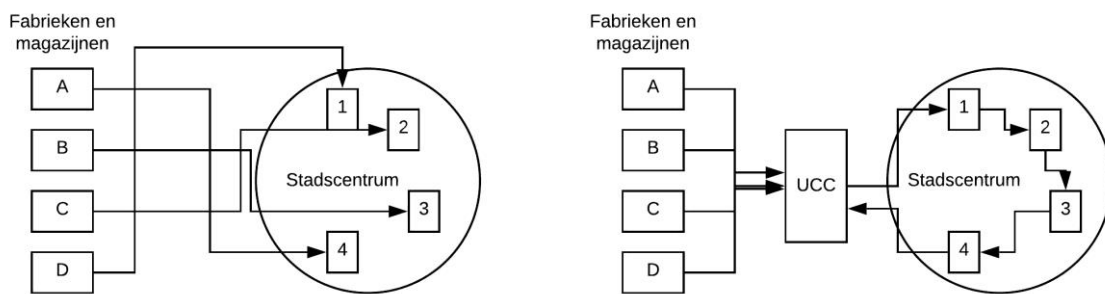
Tabel 4: Voor- en nadelen van (elektrische) bikecargo (Lia et al., 2014).

Voordelen	Nadelen
<i>Kleine en frequente leveringen</i>	<i>Consolidatiecentrum</i>
<i>Lage aankoop- en onderhoudskosten</i>	<i>E-bike oplaadtijd van 4 tot 8 uur</i>
<i>Geen beperkingen voor toegang tot stedelijke gebieden</i>	<i>Bereik van 30 tot 90 km</i>
<i>Snellere of gelijke snelheid als dat van bestelwagens</i>	<i>Enkel vervoer van pakketten, paletten niet mogelijk</i>
<i>Minder beïnvloedbaar door congestie</i>	<i>Kleiner laadvermogen vergeleken met bestelwagen</i>
<i>Weinig tot geen uitstoot</i>	
<i>Minder geluidsoverlast</i>	

De fietscargo is een markt die nog aan het ontwikkelen is en nog ruimte heeft voor verder onderzoek. Er zijn reeds enkele simulaties uitgevoerd om de effecten monetair te kunnen samenvatten. De simulatie van Melo and Baptista (2017) werd uitgevoerd op een microscopisch klein verkeerssimulatie model op basis van de stad Porto, Portugal. De stad heeft ongeveer 270 000 inwoners en een maximaal lineaire afstand van 2km. Hieruit kon geconcludeerd worden dat tot 10 procent van de bestelwagens vervangen kunnen worden door cargobikes om voordelig te zijn. Uitstoot kan tot 73 procent verminderd worden en het gebruik van elektrische cargobikes resulteert in 25 procent minder externe kosten (Melo & Baptista, 2017).

2.2.5 Urban consolidation centre

Om een duidelijk beeld te scheppen over UCC zal de definitie van Allen, Thorne, and Browne (2007) gebruikt worden: "Een logistieke faciliteit gesitueerd in de buurt van de geografische omgeving dat het dient (een stadscentrum, gehele stad of specifieke site), waaraan vele logistieke bedrijven goederen bestemd voor dat gebied leveren, waaruit geconsolideerde leveringen uitgevoerd kunnen worden, hierbij kunnen een reeks andere waarde toevoegende diensten uitgevoerd worden". Een UCC lijkt de perfecte oplossing voor het tegengaan van de vele problemen in verband met stadsdistributie. Maar het oprichten ervan vereist grondig onderzoek zodat het succesvol is, zeker met de hoge oprichtingskosten die eraan te pas komen. Er moet rekening gehouden worden met de bereidheid van leveranciers, de ligging, de routeplanning, het bereik etc.



Figuur 8: Werking UCC (aangepast uit Allen, Browne, Woodburn, and Leonardi (2014)).

Parameters

Om de haalbaarheid van een UCC te kunnen vaststellen moeten er rekening gehouden worden met een aantal parameters; deze zijn terug te vinden in **Fout! Verwijzingsbron niet gevonden..** Er is een lage kans op slagen in Europa voor UCC waardoor het belangrijk is dat bij het opzetten ervan al deze kenmerken zorgvuldig onderzocht worden. De basis bij het opzetten van een consolideringscentrum zijn de kenmerken van het doelgebied. Er is een gedetailleerd onderzoek nodig van de verkeersstromen die in en uit het doelgebied komen alsook van de extra diensten die plaats kunnen vinden om financieel de activiteiten te kunnen ondersteunen alsook gebruikers aan te kunnen trekken. Hierbij komt natuurlijk het bepalen van de locatie alsook de type voertuigen die gebruikt zullen worden. Na de analyse van het doelgebied kan er overgegaan worden naar de kenmerken van het UCC alsook het type. Vaak wordt de focus gelegd op detailhandel maar ook voor andere sectoren zoals de bouw, kantoren, dienstorganisaties, etc. kunnen consolideringscentra ontwikkeld worden. Goederen die over heel specifieke behandelingsvereisten bezitten alsook voertuigen die reeds met volle ladingen naar één bestemming vervoeren, hebben meestal geen baat aan een consolideringscentrum (Browne, Sweet, Woodburn, & Allen, 2005).

De voordelen die gehaald kunnen worden blijven vaak ongekend of worden niet bekeken. Ieder bedrijf focust zich op de eigen activiteiten terwijl er als er naar het totaal plaatje gekeken wordt, dankzij samenwerking voor meerdere partijen voordelig gewerkt kan worden. Zoals eerder vermeld is het dus belangrijk dat alle belanghebbenden vanaf het begin betrokken worden in het

ontwikkelingsproces. Volgens het onderzoek van Browne et al. (2005) is de kans op een succesvol UCC het grootst wanneer er een 'bottom-up' druk ontstaat waarbij een groep potentiële gebruikers zich inzetten voor het gebruik ervan en druk uitoefenen op de lokale overheid alsook op de leveranciers om samen te werken. Dit bewijst nogmaals dat de samenwerking van de belanghebbenden een kritische rol speelt in een succesverhaal.

De voordelen die ontstaan dankzij het consolidatiecentrum spreken voor zich. Er ontstaat een vermindering van voertuigen in het stadscentrum alsook een daling in afgelegde afstand, emissie, geluidsoverlast en congestie. Er ontstaat een kostenvoordeel voor de gebruikers alsook ruimte voor een meer flexibele planning voor transporteurs. Maar om deze voordelen te kunnen benutten moeten er grote investeringen gemaakt worden. Hierbij komt de politieke haalbaarheid te pas met de vraag 'Wie gaat deze kosten dragen?'. Bedrijven zijn vaak terughoudend over zulke grote investeringen omdat men vreest voor het free-riders probleem, namelijk dat andere ondernemingen baten zullen ondervinden terwijl enkel zij de kosten zullen dragen. Hierbij is de samenwerking weer van groot belang alsook steun van de overheid. Een andere factor die bijdraagt tot de politieke haalbaarheid is de bereidheid tot het delen van gevoelige informatie. Om de operationele flow te garanderen moeten levertijden, hoeveelheden, etc. gedeeld worden met de hub. Dit wordt vaak liever niet gedaan om de competitieve positie van de onderneming te kunnen veiligstellen (Van Duin, Quak, & Muñuzuri, 2010).

Tabel 5: Parameters ter evaluatie haalbaarheid UCC (Van Duin et al., 2010).

Technische haalbaarheid	Commerciële haalbaarheid		Politieke haalbaarheid
Kenmerken doelgebied	Voordelen	Kosten	Verdeling van kosten en baten
Kenmerken UCC	Kostenvoordeel gebruikers	Grond	Samenwerking belanghebbenden
Type UCC	Tijds en loonbesparing handelaar	Gebouw en andere infrastructuur	Betrouwbaarheidsproblemen
Type distributievoertuigen	Meer flexibele planning transporteurs	Rollend materieel	
Locatie UCC	Tijdsbesparing transporteurs	Werknemers	
		Verzekering	
		Verbruikskosten	

Case studies

In het onderzoek van Van Duin et al. (2010) werden verschillende Europese consolidatiecentra geanalyseerd om de meest kritieke succes- en faalfactoren te kunnen vaststellen. Deze zijn samengevat in Tabel 6. Uit vier van de zes cases is duidelijk dat steun van de overheid via subsidies een belangrijke succesfactor is voor het oprichten van een UCC. Het is belangrijk dat het UCC niet

compleet afhankelijk hiervan is om zo dus nog steeds kostvoordelen te kunnen geven aan de transporteurs indien de subsidies wegvallen. Het consolidatiecentrum in Kassel is hier een perfect voorbeeld van. Ondanks dat er een daling van 60 procent in afgelegde afstand werd vastgesteld en een verdubbeling in het gebruik van capaciteit, werd er een snelle daling in gebruik vastgesteld bij het stopzetten van de subsidies. Het UCC in La Rochelle is ook nog niet financieel haalbaar maar vanwege het collectief gevoel van urgentie van alle belanghebbenden wordt er goed samengewerkt om dit te veranderen. De besparingen die in tijd en afstand gemaakt worden zijn groter dan de kosten van het UCC voor alle belanghebbenden. De vroege betrekking van alle belangrijke stakeholders kan hier dan ook als een succesfactor geïdentificeerd worden. De overheid speelt dus een belangrijke rol in het stimuleren en ondersteunen van een UCC. Ook door de tijdsvensters in La Rochelle is het voordeliger voor leveranciers om hun goederen in het UCC af te zetten zodat zij deze kunnen bundelen en met toegelaten elektrische voertuigen kunnen transporteren. Zo worden vertragingen in leveringen teruggedrongen alsook het gebruik van het UCC aangemoedigd (Van Duin et al., 2010).

Ook de locatie van het consolidatiecentrum speelt een belangrijke rol in het succes ervan. Het UCC in Leiden was te ver gelegen van de snelweg. Deze keuze was gemaakt door het type elektrische voertuigen die gebruikt gingen worden door de UCC. De elektrische voertuigen hadden een laag bereik waardoor het UCC zeer dichtbij het stadscentrum moest liggen en verde af van de snelwegen. Ook was er sprake van weinig gebruikers, vele transportbedrijven waren tegen de oprichting van het consolidatiecentrum omdat men vreesde voor het ontstaan van een monopolie markt. Dit kon makkelijk vermeden worden indien het voorbeeld van La Rochelle gevolgd werd waar de belanghebbenden vroegtijdig geïnformeerd en betrokken werden in het oprichtingsproces (Van Duin et al., 2010).

Tabel 6: Kritieke factoren succes UCC (Van Duin et al., 2010).

Case Study	Succesfactoren	Barrières
<i>Leiden, NL</i>		Weinig gebruikers Locatie UCC Ongeschikte voertuigen
<i>Nijmegen, NL</i>	Subsidies Aanbod van <i>value adding services</i>	
<i>Bristol, VK</i>	Subsidies Locatie UCC	
<i>Kassel, DL</i>	Subsidies Hoge laadcapaciteit	Stopzetting subsidies
<i>La Rochelle, FR</i>	Subsidies Vroege betrekking van belangrijke <i>stakeholders</i> Tijdvensters	
<i>Malaga, ES</i>		Weinig gebruikers

Het gebruik van een UCC brengt een aantal voordelen met zich mee. De volumebundeling zorgt ervoor dat er een heel aantal kostenbesparingen en minder lege verplaatsingen kunnen plaatsvinden. Hierbij kunnen de *last miles* uitgevoerd worden door middel van milieuvriendelijke voertuigen, dit resulteert in een hogere daling van emissie alsook geluidsoverlast.

Ondanks de vele voordelen zijn er ook uitdagingen. De hoge oprichtingskosten zijn één van de grootste drempels tot oprichting alsook de operationele complexiteit. Doordat er veel verschillende producten opgeslagen zullen worden met ieder een ander behandelingsvereiste zal er een regel tot uniformiteit nodig zijn. Om een vlotte samenwerking te kunnen bereiken, is het noodzakelijk dat er onderling data gedeeld moet worden. Dit brengt heel wat contractuele en organisatorische problemen met zich mee (Allen et al., 2007). Voor een succesvol UCC is het belangrijk dat er eerst en vooral onderling vertrouwen bestaat. Anders zullen de organisatorische problemen blijven opstapelen en zal er uiteindelijk inefficiënt gewerkt worden.

2.2.6 Samenvatting

Een samenvatting van alle besproken duurzame alternatieven met bijhorende voor- en nadelen worden besproken in onderstaande Tabel 7.

Tabel 7: Samenvatting duurzame alternatieven.

Duurzaam alternatief	Voordelen	Nadelen
<i>Elektrische voertuigen</i>	Verminderde emissies Minder geluidsoverlast Overheidssteun Geen beperkingen van LEZ's	Opkomende markt (niet genoeg informatie en niet veel differentiatie in assortiment) Dure onderdelen Lange oplaadtijden Gebrek aan ondersteunende infrastructuur Beperkte afstand
<i>Tramcargo</i>	Lage investeringskosten indien bestaand infrastructuur Verminderde emissies Minder congestie	Hoge investeringskosten indien geen bestaand infrastructuur Geluidsoverlast Tekort aan flexibiliteit
<i>Lage emissie zones</i>	Verminderde emissies Minder geluidsoverlast Minder ongevallen Minder congestie	Gebrek aan grondig controlesysteem Competitiviteit verminderen Sociaal gemixte reacties
<i>Bikecargo</i>	Lage aankoop- en onderhoudskosten Geen beperkingen van LEZ's Verminderde emissies Minder geluidsoverlast Minder congestie	Bereik van 30 tot 90 km Vermoeide koeriers Lange oplaadtijd van e-bike Vervoer van paletten niet mogelijk Kleiner laadvermogen
<i>Urban consolidation center</i>	Kostenbesparing Verminderde emissies Minder geluidsoverlast Minder congestie Overheidssteun	Hoge oprichtingskosten Operationele complexiteit Betrouwbaarheidsproblemen Verdeling kosten en baten

Hoofdstuk 3: Empirisch onderzoek

Als empirische studie is ervoor gekozen om met de VRP-tool in Excel een aantal datasets te testen om resultaten te verkrijgen over de impact dat het gebruik van een UCC heeft. Het Vehicle Routing Problem (VRP) is een van de meest voorkomende optimalisatieproblemen in de logistiek. Hierbij probeert men de kosten of afgelegde afstand van het vrachtvervoer te minimaliseren. De VRP Spreadsheet Solver is ontwikkeld door onderzoeker Günes Erdogan en kan verschillende varianten van een VRP oplossen. De tool kan een route vastleggen op basis van de data uit de werkbladen en doet dit door de afgelegde afstand te minimaliseren. De tool geeft als oplossing de volgorde van klanten alsook de afstand en tijd waarin de leveringen plaatsvinden (Erdoğan, 2017).

Er zullen verschillende scenario's getest worden om op basis van de gemiddelden vast te kunnen stellen indien het gebruik van een UCC daadwerkelijk resulteert in een significante vermindering van afgelegde afstand en tijd.

3.1 Methodologie

3.1.1 Data

De data die in deze masterproef worden gebruikt zijn afkomstig van promotor prof. dr. Moons. Het gaat om willekeurig gegenereerde data. Elke scenario heeft 60 klanten en deze zijn gelegen in een geografisch gebied van 50 op 50 waarin het UCC de coördinaten (0,0) heeft. De groottes van de klantenorders zijn gegenereerd door middel van een triangulaire verdeling, namelijk $TRIA(1,2,6)$, waarbij $\min = 1$, $\text{mode} = 2$, $\max = 6$. Er zijn drie scenario's waarbinnen er telkens vijf instances worden berekend. Het eerste scenario is het basisscenario oftewel ook scenario 0. Dit houdt in dat elke leverancier aan 30 verschillende consumenten levert. Er zijn dus in totaal 60 verschillende klanten waarbij goederen geleverd moeten worden. Scenario 1 is het 50/50 scenario waarbinnen elke leverancier weer aan 30 consumenten levert maar dit keer is er een overlapping van consumenten. Dit houdt in dat 15 van de 30 consumenten van leverancier 1 ook een levering zullen ontvangen van leverancier 2. In totaal moeten dus 45 verschillende locaties bezocht worden. In het laatste scenario, scenario 2 oftewel ook 40/20 scenario, wordt er gebruik gemaakt van één grote leverancier die aan $\frac{2}{3}$ van de klanten levert en één kleine leverancier die de overige 20 klanten belevt. In scenario 2 is er geen overlapping qua klanten, enkel de klantenverdeling wijzigt tussen de leveranciers. Er wordt onderzocht indien er een daling is in afgelegde afstand en tijd bij het gebruik van een consolidatiecentrum aan de rand van de stad en of het verschil in variantie een impact uitoefent op het gevonden resultaat.

De drie scenario's zullen twee keer uitgewerkt worden, namelijk in een situatie waarin de leveranciers dichtbij elkaar gelegen zijn alsook een situatie waarin de leveranciers ver van elkaar gelegen zijn. De coördinaten van het UCC blijven ongewijzigd in elke situatie. De situatie waarin de leveranciers dichtbij elkaar gelegen zijn zal situatie 1 genoemd worden, en hetgeen waarbij ze ver uit elkaar liggen situatie 2. De coördinaten voor beide situaties kunnen teruggevonden worden in Tabel 8.

Tabel 8: Coördinaten leveranciers.

Coördinaten – situatie 1	X	Y
Leverancier 1	-10	-5
Leverancier 2	-5	15
UCC	0	0
Coördinaten – situatie 2	X	Y
Leverancier 1	-10	-25
Leverancier 2	-5	10
UCC	0	0

Om structuur te creëren in het aantal instances die getest zullen worden is er een overzicht gecreëerd in Tabel 9. Tijdens het bespreken van de resultaten zal er verwezen worden naar deze benamingen. Bijvoorbeeld bij het beschrijven van de resultaten van situatie 2 scenario 1, zal het gaan over leveranciers die ver uit elkaar liggen en voor 50% een overlapping van consumenten zullen hebben.

Tabel 9: Overzicht instances.

Situatie 1: Leveranciers liggen geografisch dichtbij elkaar in de omgeving.	<p>Scenario 0: Basisscenario waarin elke leverancier aan 30 consumenten levert zonder overlapping (5 instances).</p> <p>Scenario 1: Scenario waarin elke leverancier aan 30 consumenten levert met 50% overlapping van consumenten (5 instances).</p> <p>Scenario 2: Scenario waarin 1 grote leverancier aan 40 consumenten levert en 1 kleine leverancier aan 20 consumenten, zonder overlapping (5 instances).</p>
Situatie 2: Leveranciers liggen geografisch ver uit elkaar	<p>Scenario 0: Basisscenario waarin elke leverancier aan 30 consumenten levert zonder overlapping (5 instances).</p> <p>Scenario 1: Scenario waarin elke leverancier aan 30 consumenten levert met 50% overlapping van consumenten (5 instances).</p> <p>Scenario 2: Scenario waarin 1 grote leverancier aan 40 consumenten levert en 1 kleine leverancier aan 20 consumenten, zonder overlapping (5 instances).</p>

Elke instance heeft twee leveranciers die in totaal aan 60 consumenten leveren. De locatie van de consument wordt voorgesteld als XY-coördinaten. Elke leverancier heeft 15 bestelwagens ter beschikking met een capaciteit van 50 eenheden. Elke gebruikte bestelwagen moet een gesloten route afleggen die vertrekt en eindigt aan het depot. De toegelaten werk- en rijtijden van de bestuurders bedragen maximaal 8 uur per dag. De kost per afgelegde km staat vast op 0,22 euro indien de leveranciers het transport zelf uitvoeren en 0,25 euro bij het gebruik van de UCC. Deze prijzen zullen nader toegelicht worden bij de kritische reflectie omdat er in dit onderzoek meer focus

zal liggen op de afgelegde afstand en tijd. Bij het gebruik van een UCC mag men ervan uitgaan dat de leveranciers elk met 1 bestelwagen alle leveringen aan het distributiecentrum kunnen leveren, de afgelegde weg tot aan het distributiecentrum zal per km 0,22 euro kosten. Ook het distributiecentrum beschikt over een vloot van 15 voertuigen met elk een capaciteit van 50 eenheden. Er wordt verondersteld dat er geen tijdsvensters zijn. Dit zal ook verder besproken worden in de kritische reflectie.

Eerst wordt er voor elke instance een VRP uitgevoerd per leverancier om de afgelegde afstand, tijd en kosten te bekomen. Hierna wordt er eenmalig de afstand van de leveranciers tot het distributiecentrum berekend alsook de kosten en de tijd dat dit in beslag neemt. Deze gegevens zullen telkens bij het resultaat van het distributiecentrum berekend worden.

3.1.2 Doelstellingen

Zoals elk empirisch onderzoek zullen er een aantal hypothesen opgesteld worden waarop men de data zal testen. Deze hypothesen zijn opgesomd in onderstaand Tabel 10.

Tabel 10: Doelstellingen onderzoek.

<i>Hypothese 1</i>	Het gebruik van een distributiecentrum brengt een daling in de totaal afgelegde afstand en tijd teweeg.
<i>Hypothese 2</i>	De daling in afstand en tijd bij gebruik van een distributiecentrum is groter wanneer leveranciers dezelfde consumenten beleveren.
<i>Hypothese 3</i>	De verhouding van de leveranciers ten opzichte van elkaar heeft een invloed op het verschil in afstand en tijd bij het gebruik van een distributiecentrum
<i>Hypothese 4</i>	De afstand tussen de twee leveranciers heeft een impact op het verschil in afstand en tijd bij het gebruik van een distributiecentrum.
<i>Hypothese 5</i>	Het gebruik van een distributiecentrum resulteert in een daling van aantal trips en een verbeterde capaciteitsbenutting.

Om de bovenstaande hypothesen te testen zullen de verschillende varianties en scenario's met elkaar vergeleken worden op basis van gemiddelden. Specifiek zal er gefocust worden op het verschil in afstand, levertijd en aantal trips die de vrachtwagens moeten uitvoeren.

3.2 Resultaten

In deze sectie worden de resultaten van de analyses uitgevoerd in VRP besproken. Met deze analyses wordt er getracht het effect van het gebruik van een distributiecentrum vast te leggen. Allereerst wordt het algemene effect van een distributiecentrum op alle scenario's getest (sectie 3.2.1). Vervolgens wordt het effect van overlappende consumenten (sectie 3.2.2) alsook het aantal consumenten (sectie 3.2.3) dat de leveranciers hebben besproken. Hierna zal er onderzocht worden indien de geografische ligging van de leveranciers een invloed uitoefent op de resultaten van een distributiecentrum (sectie 3.2.4). Ten slotte worden de resultaten van de analyses met betrekking tot de capaciteitsbenutting en aantal ritten besproken (sectie 3.2.5).

3.2.1 Hypothese 1

Om het algemeen effect van het gebruik van distributiecentra vast te kunnen stellen worden de gemiddelde veranderingen in tijd en afstand tussen al de 5 instances van situatie 1, scenario 0 met elkaar vergeleken. Dit is de basisscenario waarin de leveranciers dichtbij elkaar gelegen zijn en elke leverancier 30 consumenten zonder overlappings belevt. Per instance is de afstand afgelegd door de leveranciers zonder DC berekend en opgeteld om de totaal afgelegde afstand te bekomen. Ook is er per instance de totale afstand bij gebruik van een DC berekend. Hiervoor is er zoals eerder vermeld eenmalig de afstand en tijd die nodig is voor de leveranciers om hun goederen naar het DC te vervoeren berekend. Er werd hierbij verondersteld dat elke leverancier met één vrachtwagen al hun goederen kan vervoeren. Leverancier 1 legt hiervoor 11,18 km af in 10 minuten tijd en leverancier 2 doet 14 minuten over een afstand van 15,81 km. Deze werden telkens opgeteld bij de tijd en afstand dat het DC nodig had om alle consumenten te beleven, zoals afgebeeld staat in Tabel 11. In het scenario waarin er geen gebruik gemaakt wordt van het consolideringscentrum kan er vastgesteld worden dat de gemiddeld benodigde afstand 654,2 km is om alle klanten te kunnen beleven. Indien er wel gebruik gemaakt wordt van een distributiecentrum kan dit getal verlaagd worden tot 533,53 km. Dit is een daling van maar liefst 18,45%. Gemiddeld stoot een kleine vrachtwagen 0,428 kg CO₂ per km uit (www.milieubarometer.nl, 2016). Indien dit wordt toegepast op de gemiddelde daling in afstand kan er geconcludeerd worden dat door het gebruik van een distributiecentrum er een gemiddelde daling van 51,65 kg CO₂-uitstoot ontstaat.

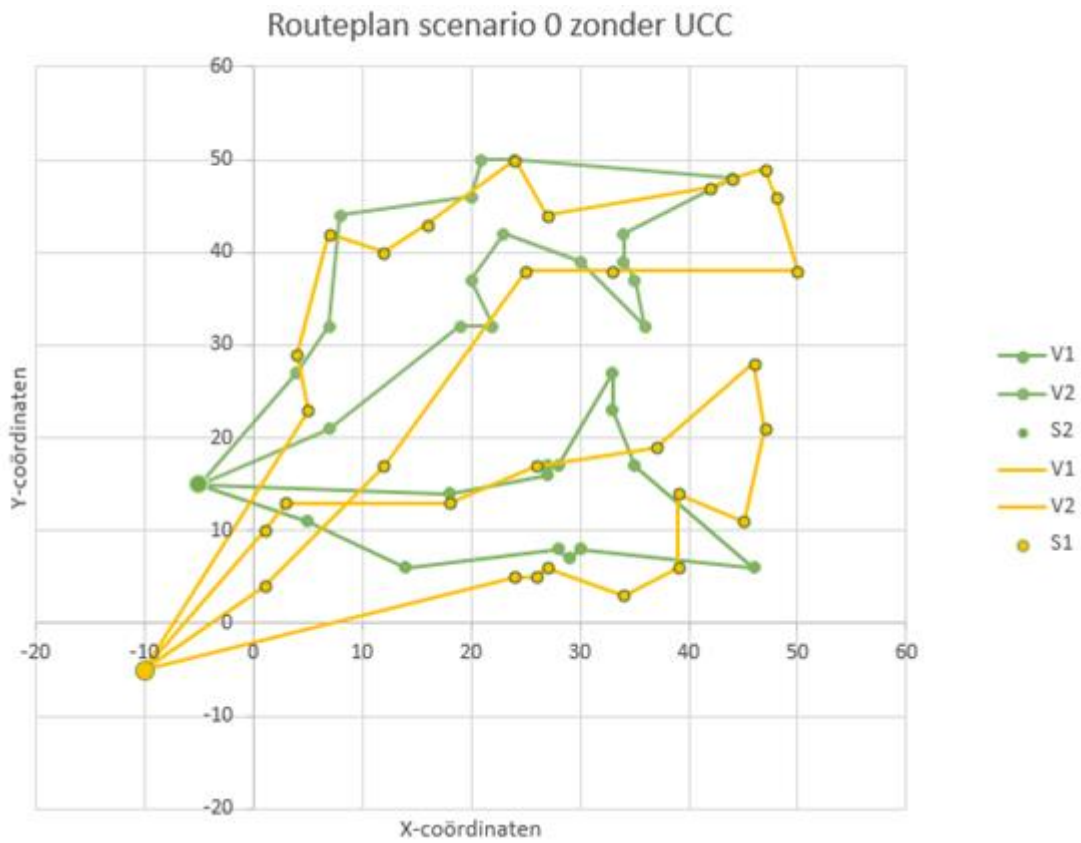
Verder resulteert het gebruik van een UCC ook in een daling van levertijd. Gemiddeld duurde het 9 uur en 21 minuten alvorens beide leveranciers al hun consumenten konden beleven. Door middel van het gebruik van een consolideringscentrum kon dit gemiddelde neergehaald worden naar 7 uur en 42 minuten. Dit is een gemiddelde daling van maar liefst 1 uur en 39 minuten, oftewel 19,44%. Hiermee besparen de leveranciers een stuk op loonkosten.

Tabel 11: Besparingen basisscenario ligging leveranciers dichtbij elkaar.

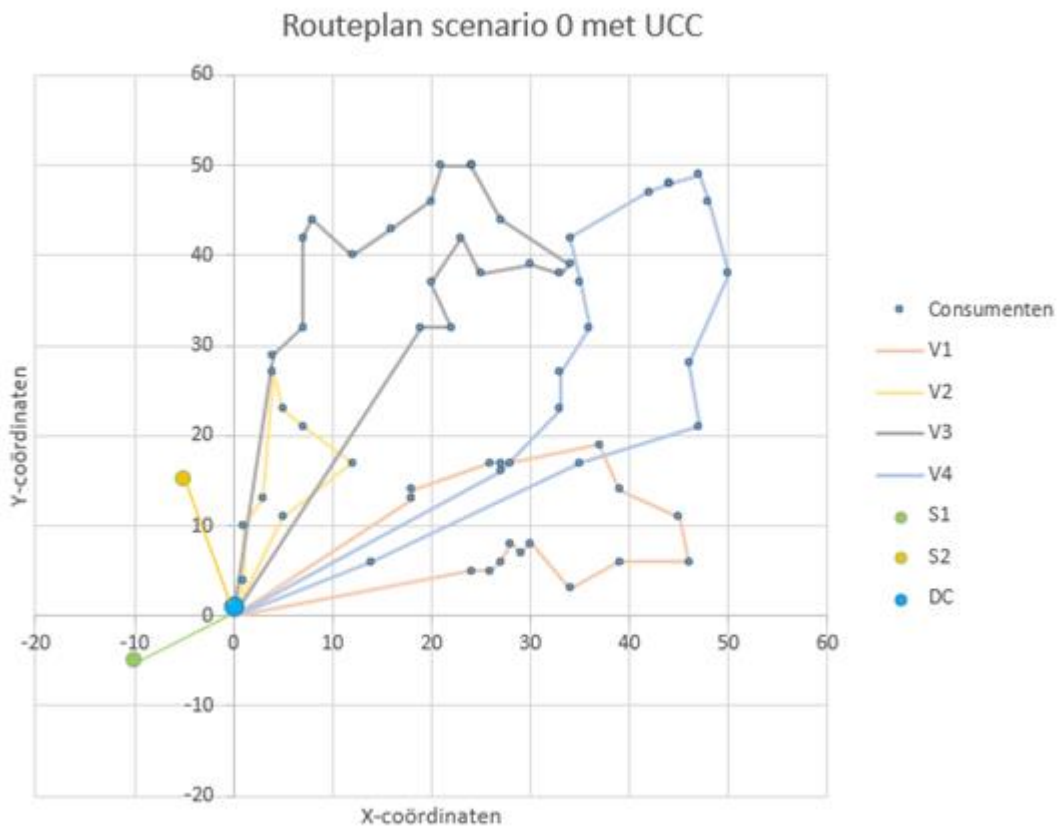
Instance	Afstand Zonder DC			Afstand Met DC			Totale afstand met DC	Verschillen
	Lev 1	Lev 2	Totaal Afstand	Lev 1	Lev 2	Afstand DC		
1.	346,29	280,47	626,76	11,18	15,81	480,53	507,52	-119,24
2.	360,07	313,67	673,74	11,18	15,81	521,06	548,05	-125,69
3.	325,20	322,86	648,06	11,18	15,81	513,37	540,36	-107,70
4.	322,19	316,26	638,45	11,18	15,81	497,27	524,26	-114,19
5.	384,87	299,13	684,00	11,18	15,81	520,46	547,45	-136,55
Gemiddelde	347,72	306,48	654,2	11:18	15,81	506,54	533,53	-120,67
Instance	Tijd Zonder DC			Tijd Met DC			Totale tijd met DC	Verschillen
	Lev 1	Lev 2	Totaal tijd	Lev 1	Lev 2	Tijd DC		
1.	4:59	4:01	9:00	0:10	0:14	7:14	7:28	1:32
2.	5:09	4:28	9:37	0:10	0:14	7:33	7:47	1:50
3.	4:39	4:36	9:15	0:10	0:14	7:32	7:46	1:29
4.	4:37	4:32	9:09	0:10	0:14	7:21	7:35	1:34
5.	5:30	4:17	9:47	0:10	0:14	7:40	7:54	1:53
Gemiddelde	4:58	4:22	9:21	0:10	0:14	7:28	7:42	1:39

Tabel 11 is voor alle scenario's uitgewerkt en kunnen teruggevonden worden in de bijlagen. Hierna zal er enkel gewerkt worden met de gemiddelden om de structuur beter te kunnen behouden.

De daling in transport is ook zichtbaar in de visualisatie van de routeplannen. In **Fout! Verwijzingsbron niet gevonden.** is de routeplanning voor een willekeurige instance in de basisscenario zonder UCC te zien. In **Fout! Verwijzingsbron niet gevonden.** is eveneens de afgelegde route te zien bij het gebruik van een distributiecentrum aan de rand van het stad. Het valt op dat er in **Fout! Verwijzingsbron niet gevonden.** heel wat overlappingsen zijn van de bestelwagens van de leveranciers. Dankzij het UCC kunnen de goederen van de consumenten die dichtbij elkaar gelegen zijn gebundeld worden en vinden er minder overlappingsen plaats. Hiermee wordt de eerste hypothese bevestigd, namelijk dat het gebruik van een UCC een daling teweeg brengt in de totaal afgelegde afstand en tijd.



Figuur 9: Route basisscenario, instance 1, zonder UCC.



Figuur 10: Route basisscenario, instance 1, met UCC

3.2.2 Hypothese 2

Tabel 12 toont de resultaten voor scenario 1 waarin de leveranciers voor 50% van de klanten een overlapping hebben en dichtbij elkaar gelegen zijn. Deze zullen vergeleken worden met de basisscenario om het effect van overlappende consumenten op de resultaten vast te kunnen stellen. Het gebruik van een consolidatiecentrum leidt tot een daling van de afgelegde afstand en dit over alle instances heen (zie bijlage Tabel 21 Tabel 21). In scenario 1 zonder gebruik te maken van een UCC bedroeg de gemiddeld afgelegde afstand 647,96 km. Indien de leveranciers eerst alles aan het consolidatiecentrum leveren en het centrum de leveringen distribueert wordt er gemiddeld een afstand van 498,2 km afgelegd, inclusief de verplaatsing van de goederen van de leveranciers tot de UCC. Dit resulteert in een gemiddelde daling van maar liefst 23,11% in afgelegde afstand. In de basisscenario bedroeg zoals eerder vermeldt de procentuele verandering in afstand 18,45%. In scenario 1 kan er dus een sterkere daling vastgesteld worden in vergelijking met de basisscenario met een gemiddeld verschil van 4,66 procentpunt. Doordat er een overlapping is kan er een grotere besparing in afstand gerealiseerd worden na het bundelen van de goederen. Dit komt omdat eenzelfde consument niet langer door twee leveranciers beleverd moet worden maar enkel door het distributiecentrum. Dit wijst erop dat een consolidatiecentrum efficiënter te werk gaat bij leveranciers die gemeenschappelijke klanten bedienen.

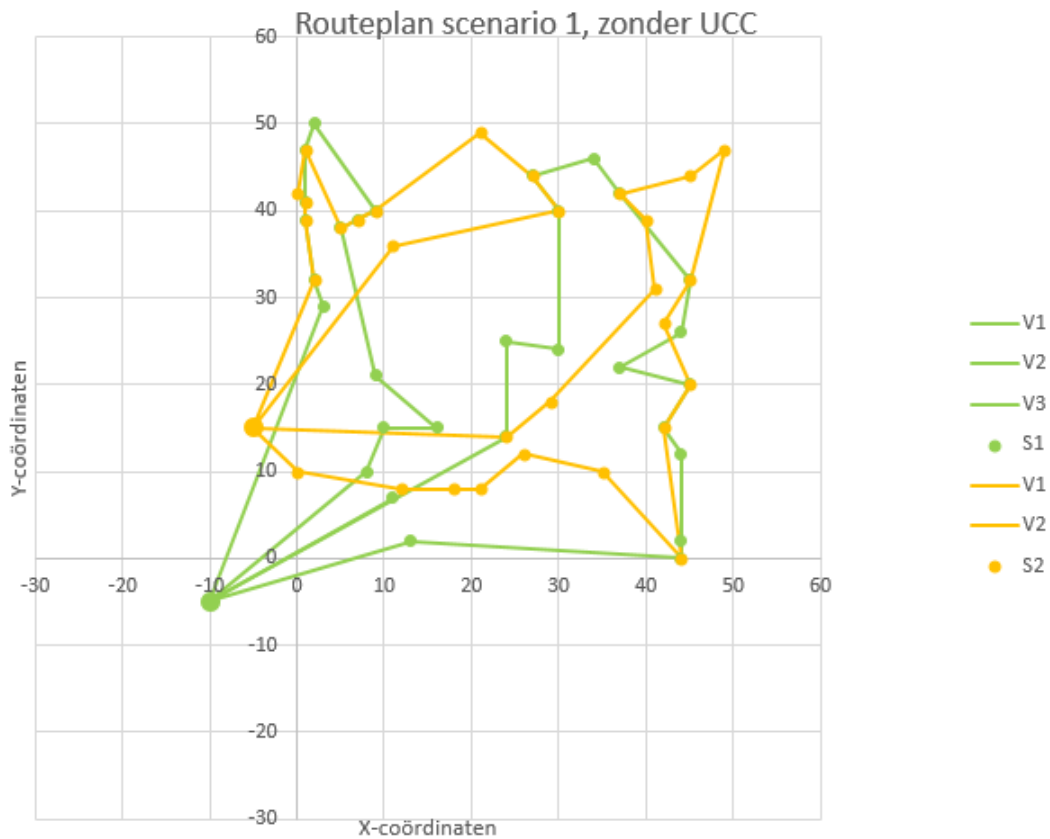
Gekoppeld aan de daling in afgelegde afstand komt de daling in levertijd. In scenario 1 werd zonder DC een gemiddelde levertijd van 9 uur en 2 minuten vastgesteld totdat alle consumenten beleverd worden. Bij het gebruik van een UCC in deze scenario duurt het gemiddeld 7 uur en 8 minuten tot alle klanten beleverd zijn. Dit brengt in totale levertijd een daling van 21,5% teweeg. In het basisscenario kon deze daling vastgesteld worden op gemiddeld 19,44%. Het overlappen van de consumenten resulteert dus in een 2,06 procentpunt kortere levertijd.

Hierbij moet er in acht genomen worden dat deze levertijd de totale tijd is dat nodig was om alle consumenten te beleveren, dit betekent dat de leveringen simultaan kunnen gebeuren. Zo duurt het in instance 5 van scenario 1, 5 uur en 31 minuten tot leverancier 1 al zijn consumenten beleverd en 4 uur en 24 minuten tot leverancier 2 dit doet (zie bijlage Tabel 21 Tabel 21). Dit betekent dat sommige consumenten sneller hun leveringen kunnen ontvangen wanneer er geen gebruik gemaakt wordt van het distributiecentrum, maar over het geheel heen is het voordeliger om gebruik te maken van het DC. Zo ontstaat er een daling aan gehele levertijd en aan de loonkosten die gemaakt worden.

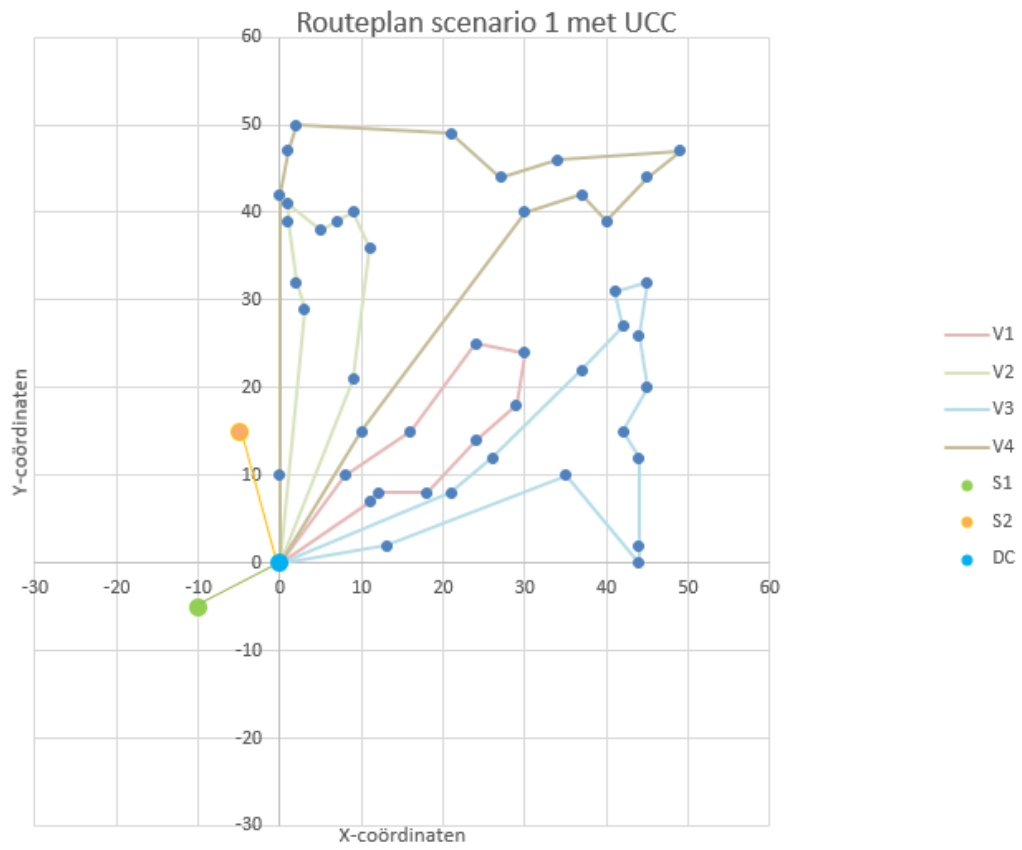
Tabel 12: Gemiddeld verschil in afstand en tijd, scenario 1.

	<i>Afstand zonder DC</i>	<i>Afstand met DC</i>	<i>Verandering afstand</i>	<i>Tijd zonder DC</i>	<i>Tijd met DC</i>	<i>Verandering Tijd</i>
<i>Scenario 0</i>	654,2	533,53	-18,45%	9:21	7:42	-19,44%
<i>Scenario 1</i>	647,96	498,2	-23,11%	9:02	7:08	-21,5%
Vershil			4,66%			2,06%

In het algemeen kan vastgesteld worden dat het gebruik van een consolidatiecentrum een grotere efficiëntie zal behalen bij overlappende consumenten, in vergelijking tot het basisscenario waar dit niet het geval is. Dit kan ook afgeleid worden uit de visuele representatie van de afgelegde routes zoals het is afgebeeld in **Fout! Verwijzingsbron niet gevonden.** en **Fout! Verwijzingsbron niet gevonden..** Deze figuren zijn willekeurig gekozen instances uit situatie 1, scenario 1. Doordat de leveranciers voor 50% van hun consumenten dezelfde coördinaten moeten bezoeken ontstaan er een heel aantal overlappingen van routes, zoals te zien is in **Fout! Verwijzingsbron niet gevonden..** 50% procent van de klanten werden minstens twee keer bezocht door verschillende voertuigen. Dankzij het gebruik van een UCC kunnen de goederen voor deze consumenten gebundeld en de dubbele ritten vermeden worden, zoals te zien is in **Fout! Verwijzingsbron niet gevonden..** Hiermee wordt er vermeden dat consumenten tweemaal bezocht worden door een leverancier. Dit bevestigt de tweede hypothese dat het gebruik van een UCC efficiënter is bij overlappende consumenten.



Figuur 11: Routeplan scenario 1 zonder UCC.



Figuur 12: Routeplan scenario 1 met UCC.

3.2.3 Hypothese 3

Tabel 13 toont de gemiddelde resultaten voor scenario 2 waarin er gebruik gemaakt wordt van een grote en een kleine leverancier. Scenario 2 zal vergeleken worden met het basisscenario om zo het effect van het aantal consumenten per leverancier op de resultaten vast te kunnen stellen. De grote leverancier belevt in totaal 40 consumenten en de kleine leverancier 20, zonder enige overlapping.

In scenario 2 bedroeg de gemiddeld afgelegde afstand 686,27 km, dankzij het gebruik van het consolidatiecentrum kon dit verlaagd worden tot 535,39 km. In totaal brengt dit een gemiddelde verandering van 21,99% teweeg in afstand. In vergelijking met het basisscenario kan vastgesteld worden dat dit een gemiddelde stijging is van 3,54 procentpunt. In twee van de vijf instances voor scenario 2 kon er opgemerkt worden dat er voor de kleine leverancier enkel één voertuig nodig was om alle consumenten te beleven. Doordat het een kleine leverancier is moet er met één enkele voertuig alle consumenten beleverd worden. Hierdoor wordt er een heel grote route afgelegd die kruist met dat van andere leveranciers. Door het gebruik van een distributiecentrum kunnen deze kruisingen en overlappingen vermindert worden. Voor de overige drie instances was er net niet genoeg ruimte om alle klanten te beleven met één voertuig en moest er voor een kleine hoeveelheid producten een tweede voertuig ingeschakeld worden. Uit deze resultaten kan afgeleid worden dat ook de grootte van de leverancier een invloed uitoefent op de efficiëntie van een UCC en dat hypothese 3 correct is.

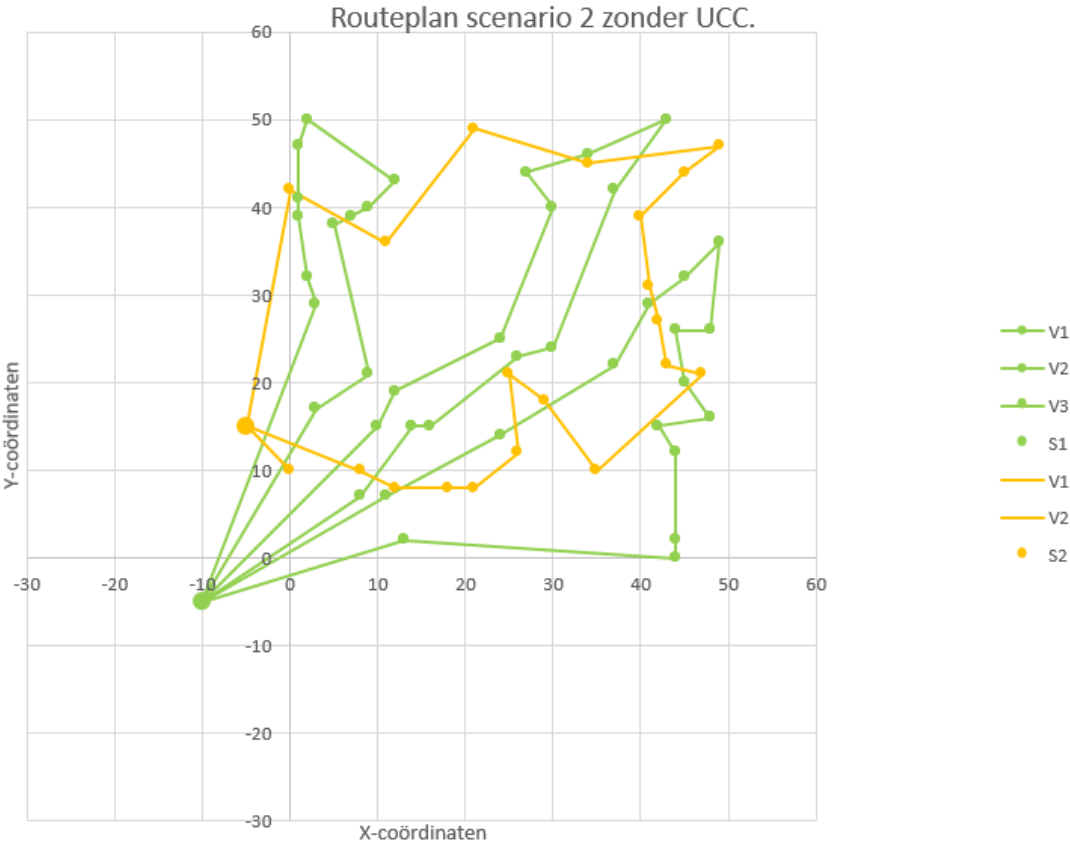
Ook in dit scenario kan een daling in levertijd geconstateerd worden. In de basisscenario duurt de levertijd gemiddeld 9 uur en 21 minuten en kon door middel van de UCC de gemiddelde levertijd verlaagd worden tot 7 uur en 42 minuten. Deze wijziging bracht een gemiddelde procentuele verandering van 19,44% teweeg. Ook in scenario 2 waarbij er een verschil is in leverancier grootte werd een gemiddelde procentuele verandering van 22,19% vastgesteld.

Tabel 13: Gemiddeld verschil in afstand en tijd, scenario 2.

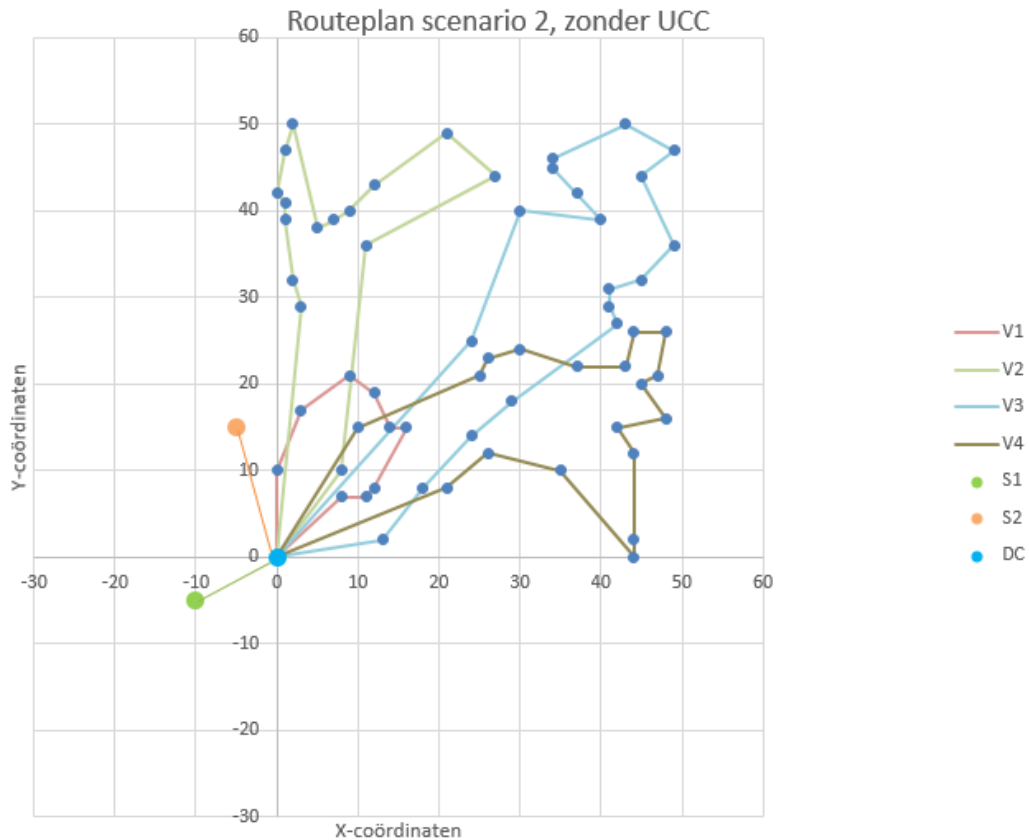
	Afstand zonder DC	Afstand met DC	Verandering afstand	Tijd zonder DC	Tijd met DC	Verandering Tijd
Scenario 0	654,2	533,53	-18,45%	9:21	7:42	-19,44%
Scenario 2	686,27	535,39	-21,99%	9:51	7:40	-22,19%
Vershil			3,54%			2,75%

Voor de visuele representatie is een willekeurige instance uit scenario 2 genomen. In **Fout! Verwijzingsbron niet gevonden.** kan de visuele representatie van scenario 2 zonder UCC teruggevonden worden. Er kan al snel opgemerkt worden dat de routes vaak dicht op elkaar liggen en elkaar meerdere maal snijdt. Het valt op dat de kleine leverancier, namelijk leverancier 2, een grote route moet afleggen met een eerste voertuig en een enorm korte met een tweede voertuig. De consumenten van de kleine leverancier liggen tamelijk verspreid waardoor er een grote afstand afgelegd moet worden met een enkele voertuig. Hierdoor ontstaat er een grote route dat meerdere malen de route van leverancier 1 kruist. Bij het gebruik van een UCC kunnen de goederen van beide

leveranciers gebundeld en deze overlappings vermeden worden, zoals te zien is in **Fout!**
Verwijzingsbron niet gevonden..



Figuur 13: Routeplan scenario 2, zonder UCC.



Figuur 14: Routeplan scenario 2 met UCC.

3.2.4 Hypothese 4

Tabel 14 toont de gemiddelde wijzigingen in afstand en tijd voor iedere scenario in zowel situatie 1 als 2. Op basis van deze tabel zal getracht worden het effect van de geografische ligging van de leveranciers ten opzichte van elkaar op de resultaten in kaart te brengen. Bij het testen van de vorige hypothesen kwam reeds naar voren dat er een grote daling in afstand en tijd vastgesteld werd in de situaties waarin de leveranciers ver van elkaar liggen. Tabel 14 bevestigt nogmaals deze bevindingen. In ieder scenario is er een grotere daling in zowel afstand en tijd in situatie 2 vergeleken met situatie 1. De kleinste wijziging vindt plaats in het basisscenario, namelijk 4,2 procentpunt, waarin iedere leverancier 30 aparte consumenten belevert. De tweede grootste wijziging vindt plaats in scenario 1, namelijk bij de overlapping van 50 procent van de consumenten. Er is in deze scenario namelijk een extra gemiddelde besparing van 5,45 procentpunt wanneer de leveranciers ver van elkaar gelegen zijn. De grootste procentuele wijziging vindt plaats in scenario 3, de grote versus kleine leverancier. Indien de twee leveranciers dichtbij elkaar gelegen zijn vindt er een gemiddelde procentuele daling in afstand van 21,96% bij het gebruik van een UCC. Dit gemiddelde stijgt naar 29,18% wanneer de leveranciers ver van elkaar gelegen zijn. Dit resulteert in een extra daling van 7,22 procentpunt.

Deze cijfers worden ondersteund met de procentuele wijzigingen in tijd. De levertijd wijzigt het minste bij vergelijking van situatie 1 met 2 in het basisscenario, namelijk slecht 1,56 procentpunt.

De grootste wijziging vindt plaats in scenario 3 waarbij er een extra procentuele wijziging is van 9,19 procentpunt.

Uit de resultaten kunnen afgeleid worden dat een UCC in elke scenario betere resultaten behaalt wanneer de leveranciers ver van elkaar gelegen zijn. Dit komt doordat de leveranciers telkens van een verre afstand moeten leveren aan de consumenten en terugkeren naar het eigen depot. Bij het gebruik van een UCC worden alle goederen in een keer vervoerd naar het distributiecentrum dat op de rand ligt van de stad. Van hieruit worden alle goederen van beide leveranciers geconsolideerd en vervoerd naar de consumenten. Doordat het DC aan de rand van stad ligt moeten de voertuigen niet langer helemaal terugkeren naar de ver gelegen leveranciers en kan er een groot deel op afgelegde afstand bespaard worden.

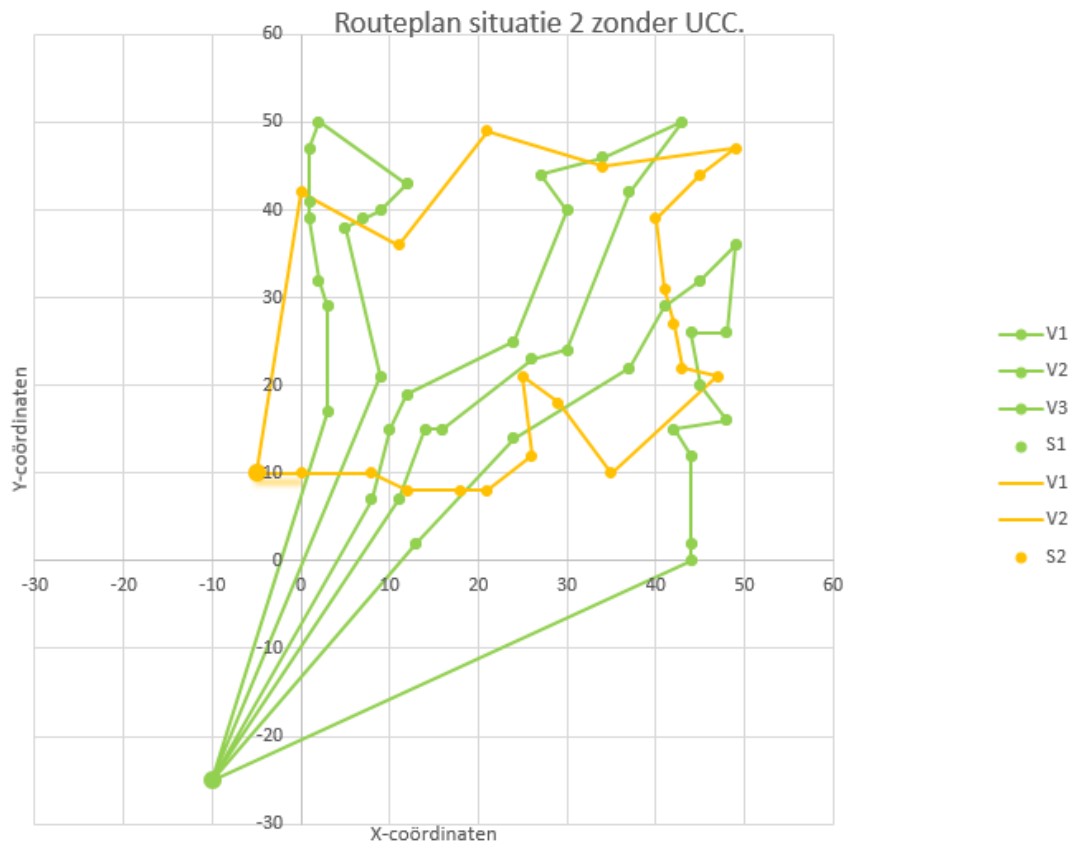
Wanneer we de procentpunten vergelijken valt er op dat de meest efficiënte situatie om een UCC op te richten in het geval is waarbij de leveranciers ver uit elkaar gelegen zijn en er sprake is van een 'grote' leverancier en een 'kleine' leverancier.

Tabel 14: Gemiddeld verschil in afstand en tijd, situatie 2.

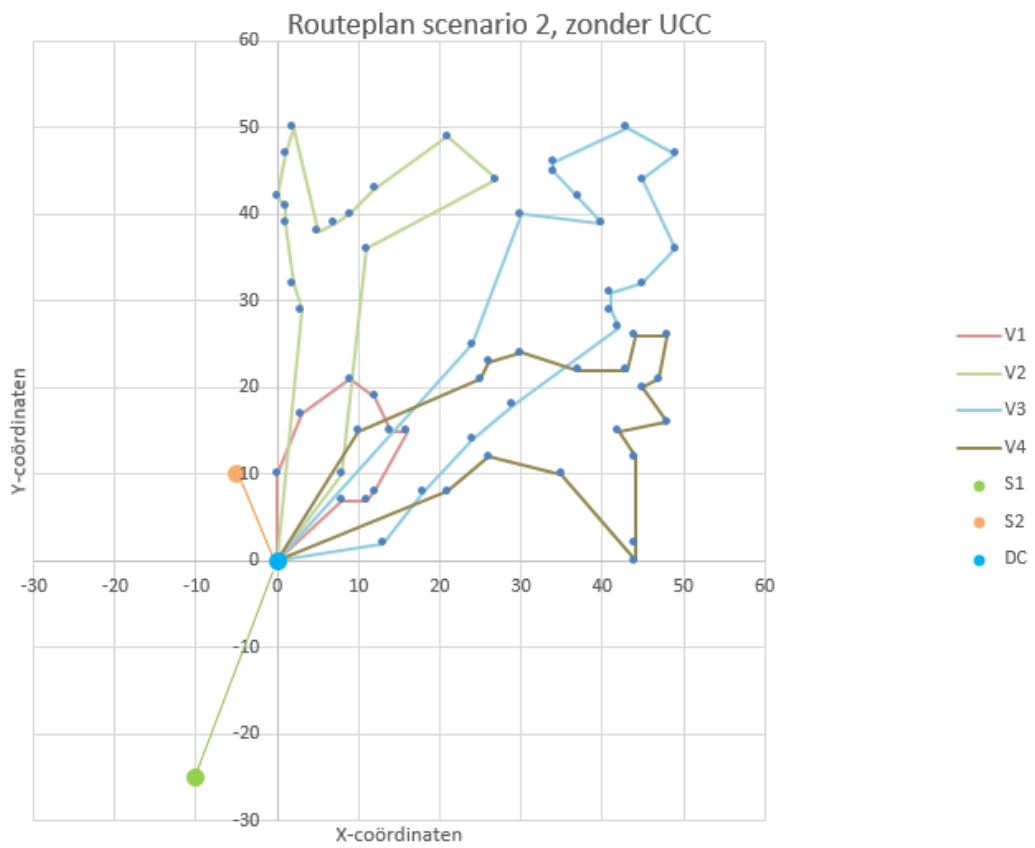
Scenario 0	Afstand zonder DC	Afstand met DC	Verandering afstand	Tijd zonder DC	Tijd met DC	Verandering Tijd
Situatie 1	654,2	533,53	-18,45%	9:21	7:42	-19,44%
Situatie 2	704,18	544,65	-22,65%	10:14	8:01	-21%
Vershil			4,2%			1,56%
Scenario 1	Afstand zonder DC	Afstand met DC	Verandering afstand	Tijd zonder DC	Tijd met DC	Verandering Tijd
Situatie 1	647,96	498,2	23,11%	9:02	7:08	-21,5%
Situatie 2	712,98	509,32	28,56%	10:12	7:27	-28,16%
Vershil			5,45%			6,66%
Scenario 3	Afstand zonder DC	Afstand met DC	Verandering afstand	Tijd zonder DC	Tijd met DC	Verandering Tijd
Situatie 1	686,27	535,39	-21,96%	9:51	7:40	-22,18%
Situatie 2	771,73	546,51	-29,18%	11:03	7:57	-31,37%
Vershil			7,22%			9,19%

Om ook een visuele representatie te bekomen is er een willekeurige instance gekozen uit de meest efficiënte scenario. Namelijk in de situatie waarin de leveranciers ver uit elkaar gelegen zijn en er een grote en een kleine leverancier is. In Figuur 15 kan de routeplanning hiervan gevonden worden zonder het gebruik van een UCC. Als we eerst kijken naar de route van leverancier 1 zien we hele lange lijnen. Dit komt doordat leverancier 1 veel verder gelegen is van zijn consumenten. Hierdoor zal er een grotere totale afstand afgelegd zijn. Wanneer we kijken naar leverancier 2, de kleine leverancier, zien we dat er twee voertuigen gebruikt zijn. Eén van de voertuigen legt een grote route af die vaak kruist en overlapt met de routes van leverancier 1. De tweede voertuig voor leverancier 2 is niet duidelijk te zien op Figuur 15 doordat er een overlapping is met de eerste voertuig. Hiervoor is er een schaduw aangebracht op het figuur. Het is duidelijk dat dit alweer een kleine route is van goederen waarvoor geen plaats meer over was op de eerste voertuig.

In Figuur 16 kan de routeplanning met het gebruik van een UCC teruggevonden worden. Dankzij de eenmalige trip die leveranciers moeten afleggen naar het UCC kan er een grote vermindering in totale afstand vastgesteld worden. De voertuigen hoeven niet langer te vertrekken en terug te keren naar het depot van de verre leveranciers, maar kunnen dit doen vanuit het dichtbij gelegen depot. Dankzij het consolideren van goederen kan er een vermindering vastgesteld worden aan het aantal gebruikte voertuigen alsook aan afgelegde afstand en tijd.



Figuur 15: Route situatie 2 zonder UCC.



Figuur 16: Route situatie 2 met UCC.

3.2.5 Hypothese 5

Om de capaciteitsbenutting te berekenen is voor elke scenario een tabel uitgewerkt waarin de aantal ritten werden vastgelegd, zoals bijvoorbeeld Tabel 15. Hiermee is er voor elke instance een gemiddelde capaciteitsbenutting berekent per leverancier alsook voor bij het gebruik van het DC zoals te zien is in Tabel 16. Dit werd voor elke scenario uitgewerkt zowel voor de situaties waarin de leveranciers dichtbij alsook ver uit elkaar gelegen zijn. Hieruit werd de gemiddelde capaciteitsbenutting zonder UCC, met UCC en het verschil per scenario verkregen en samengevat in Tabel 17.

Tabel 15: Aantal ritten scenario 0.

Instance	Lev 1	Lev 2	Totaal	UCC	Vershil
1.	2	2	4	4	0
2.	2	2	4	4	0
3.	2	2	4	4	0
4.	2	2	4	4	0
5.	3	2	5	4	1

Tabel 16: Capaciteitsbenutting scenario 0.

Instance	Lev1	Lev2	Gemiddeld	UCC	Vershil
1.	93%	85%	89%	89%	0%
2.	94%	85%	89,5%	89,5%	0 %
3.	81%	82%	81,5%	81,5%	0%
4.	89%	91%	90%	90%	0%
5.	68,66%	82%	73,1%	92,5%	19,4%
Gemiddelde			84,62%	88,5%	3,88%

Allereerst valt het op dat de grootste verbetering in capaciteitsbenutting in scenario 2 plaatsvindt in beide situaties. Dit is een bevinding dat reeds bevestigd werd in de voorgaande hypothesen. De kleine leverancier heeft in deze scenario vaak een tweede voertuig dat nauwelijks gevuld is. Dankzij het consolideren kan de capaciteitsbenutting sterk verbeterd worden. In situatie 1 zien we dat zonder het gebruik van een UCC de gemiddelde capaciteitsbenutting in scenario 2 op 77,82% stond. Na het inzetten van een consolidatiecentrum werd de gemiddelde capaciteitsbenutting verhoogd tot 88,5%. Dit is een verbetering van maar liefst 10,68%. Deze verbetering is nog sterker in situatie 2. Zonder UCC was de gemiddelde capaciteitsbenutting 70,8% in scenario 2, situatie 2. Dit kon verhoogd worden met 17,7% dankzij het gebruik van een consolideringscentrum.

Wanneer we kijken naar de totale cijfers zien we dat een UCC een in elke scenario een positieve invloed heeft op de gemiddelde capaciteitsbenutting. Gemiddeld was er een capaciteitsbenutting van 81,38% over alle scenario's heen zonder het gebruik van een distributiecentrum. Dit kon verhoogd worden met 7,12 procentpunt na het consolideren van de goederen. Zo wordt ook hypothese 5

bevestigd, namelijk dat het gebruik van distributiecentra een verbeterde capaciteitsbenutting als resultaat heeft.

Tabel 17: Totaal gemiddelde capaciteitsbenutting.

	<i>Gemiddelde capaciteitsbenutting zonder UCC</i>	<i>Gemiddelde capaciteitsbenutting met UCC</i>	<i>Vershil</i>
<i>Sit.1 scenario 0</i>	84,62%	88,5%	3,88%
<i>Sit.1 scenario 1</i>	85,13%	88,5%	3,37%
<i>Sit.1 scenario 2</i>	77,82%	88,5%	10,68%
<i>Sit.2 scenario 0</i>	85,1%	88,5%	3,4%
<i>Sit.2 scenario 1</i>	84,8%	88,5%	3,7%
<i>Sit.2 scenario 2</i>	70,8%	88,5%	17,7%
<i>Gemiddelde</i>	81,38%	88,5%	7,12%

Hoofdstuk 4: Conclusie

In deze masterproef worden de duurzame alternatieven voor stadsdistributie onderzocht. In tegenstelling tot andere onderzoeken wordt er in deze masterproef meerdere duurzame alternatieven onderzocht. Allereerst wordt er een definiëring vastgesteld van 'duurzame stadsdistributie' waarna er vijf verschillende duurzame alternatieven worden voorgesteld. Elektrische voertuigen, tramcargo, lage emissie zones, bikecargo en distributiecentra worden besproken aan de hand van casestudies. Hieruit werd geconcludeerd dat er niet één enkele perfecte oplossing is. Elke stadscentrum heeft een unieke infrastructuur en aanleg, hierdoor is niet elk duurzaam alternatief toepasbaar. Uit alle casestudies is er naar voor gekomen dat de belangrijkste conclusie om een duurzaam alternatief te implementeren is dat er grondig onderzoek vooraf uitgevoerd moet worden. Onderzoek naar de infrastructuur, stakeholders, onkosten, operationele haalbaarheid, et cetera.

In het empirisch gedeelte wordt de focus gelegd op één van de duurzame alternatieven namelijk distributiecentra. Door middel van de Vehicle Routing Problem Spreadsheet Solver werd het verschil in afstand en tijd met en zonder distributiecentra vergeleken. Op deze manier wordt getracht een antwoord op de centrale onderzoeksvraag te formuleren: 'Hoe kan stadsdistributie duurzaam gemaakt worden?'.

Op de eerste plaats wordt het algemene effect van distributiecentra op de totaal afgelegde afstand en tijd bestudeerd. Uit de resultaten blijkt dat bij het gebruik van een DC een daling van beide parameters vastgesteld kan worden. Deze resultaten bevestigen de eerste hypothese, namelijk: 'Het gebruik van een distributiecentrum brengt een daling in de totaal afgelegde afstand en tijd teweeg.'. Zonder UCC optimaliseert elke leverancier zijn eigen routes. Hierdoor kunnen kruisingen en overlappings ontstaan met andere leveranciers. Door het consolideren van de goederen kunnen deze overlappings verminderen en de levertijd verkort worden. De verkorte levertijd resulteert in een lagere loonkost voor de leveranciers. Door het consolideren kunnen minder voertuigen ingezet worden en worden externaliteiten zoals congestie en uitstoot vermindert. Gemiddeld kon een verminderde afstand van 170,39km vastgesteld worden, dit resulteert in een daling van 72,93 kg CO₂-uitstoot.

Op de tweede plaats wordt het effect van overlappende consumenten op de efficiëntie van distributiecentra bestudeerd. Uit het VRP onderzoek werd bevestigd dat de efficiëntie van een distributiecentrum stijgt wanneer er gemeenschappelijke klanten zijn tussen leveranciers. Doordat leveranciers gedeelde consumenten hebben, wordt eenzelfde consument meerdere keren bezocht door verschillende voertuigen. Dit zorgt voor herhaaldelijke overlappings en kruisingen van voertuigen. Door middel van distributiecentra kunnen de goederen van gemeenschappelijke consumenten gebundeld en in één rit bezorgd worden. Dit zorgt voor een daling in afstand alsook levertijd. Ook is het handiger voor de consument zelf om al zijn pakketten in een levering te ontvangen.

Op de derde plaats wordt er in de empirische studie onderzocht of de grootte van de leveranciers een effect heeft op de efficiëntie van het distributiecentrum. Er werd in deze scenario een grote en

een kleine leverancier ingegeven in VRP. Hieruit werd bekomen dat een distributiecentrum nog efficiënter is bij het verschil in grootte van leveranciers. Dit komt doordat kleine leveranciers vaak in een rit al hun leveringen moeten uitvoeren. Hierdoor leggen ze één grote route met één voertuig af, waardoor ze meerdere keren andere leveranciers kruisen en overlappen. Daarbovenop is het ook vaak zo dat kleine leveranciers net niet hun complete levering met één voertuig kunnen leveren waardoor er tweede voertuig ingezet moet worden met een veel lagere capaciteitsbenutting. Dankzij het distributiecentrum kunnen de goederen van kleine en grote leveranciers gebundeld en efficiënter geleverd worden.

Op de vierde plaats wordt in dit onderzoek nagegaan of de geografische ligging van de leveranciers een impact heeft op de gemiddeld afgelegde afstand en levertijd. Indien de leveranciers ver uit elkaar gelegen zijn gaat dit een meer voordelige situatie zijn om een UCC op te richten dan in een situatie waarbij de leveranciers dichtbij elkaar gelegen zijn. Dit is vooral te danken aan het feit dat de leveranciers telkens van een verre afstand moeten leveren aan de consumenten in het centrum. Door het gebruik van een UCC worden alle goederen in een keer vervoerd naar het distributiecentrum en worden alle consumenten van hieruit beleverd. Doordat het DC aan de rand van de stad ligt moeten de voertuigen niet meer helemaal terugkeren naar de ver gelegen leveranciers.

Ten laatste werd er onderzocht indien het gebruik van een distributiecentrum een positief effect heeft op de capaciteitsbenutting van voertuigen. Uit de resultaten van het VRP onderzoek kon vastgesteld worden dat er inderdaad een verbetering is in capaciteitsbenutting bij gebruik van een consolideringscentrum. Door het consolideren van goederen kunnen lege verplaatsingen vermeden en verminderd worden.

Op basis van de resultaten uit dit onderzoek kan geconcludeerd worden dat het gebruik van een distributiecentrum over alle scenario's heen resulteert in een lagere afstand en levertijd. Vooral in het scenario waarin de leveranciers ver uit elkaar gelegen zijn en er een verschil is in grootte van leveranciers. Dit is de optimale scenario waarin een distributiecentrum opgericht kan worden. Er moet echter rekening gehouden worden met een aantal factoren alvorens het oprichten van een DC. Namelijk de technische, commerciële en politieke haalbaarheid van het distributiecentrum.

Hoofdstuk 5: Limitaties en aanbevelingen voor verder onderzoek

Zoals elk onderzoek is ook deze masterproef onderworpen aan een aantal limitaties. Op basis hiervan zal getracht worden aanbevelingen voor toekomstig onderzoek te formuleren.

Eerst en vooral is enkel één duurzaam alternatief onderzocht in het empirisch gedeelte. Omwille van het gebruik van VRP was het enkel mogelijk voor het gebruik van distributiecentra een kwantitatief onderzoek uit te voeren. Omwille van de beperkte tijd was het niet mogelijk om voor elk alternatief kwantitatieve ondersteuning te voorzien. De enige andere alternatieven dat gebruik maakte van voertuigen waren de lage emissie zones en de elektrische voertuigen. Omwille van de beperkte kennis van grootschalig gebruik van elektrische voertuigen kon er geen data geformuleerd worden voor VRP. Voor lage emissie zones was er beperkte tijd om data te kunnen formuleren.

Een tweede beperking van dit onderzoek is dat de resultaten feitelijk niet gegeneraliseerd kunnen worden. De resultaten zijn gebaseerd op de instances samengesteld door Prof. Dr. Moons. De procentuele besparingen op afstand en tijd zijn sterk afhankelijk van de geformuleerde assumpties en omstandigheden. Er is enkel te werk gegaan met twee leveranciers terwijl er in de praktijk met meerdere leveranciers gewerkt wordt. Dit brengt een aantal restricties met zich mee. Ook is er geen rekening gehouden met het soort goederen. Bij het samenwerken van meerdere leveranciers kan het zijn dat sommige leveringen meer fragiel zijn dan anderen of tijdgevoelig. Hierin kan in toekomstig onderzoek onderscheidt gemaakt worden.

Ten laatste is er geen rekening gehouden met de kosten van een distributiecentrum. De variabele kost zonder UCC werd vastgesteld op 22 cent per km en met UCC op 25 cent per km. Dit omdat er geen verandering is in brandstofgebruik maar eerder een verandering in vaste kosten. Door het gebruik van distributiecentra moeten leveranciers minder investeren in rollend materieel. Dit is een kost dat daalt voor de leveranciers. In de plaats komen er verwerkingskosten aangerekend door het distributiecentrum. Hiermee is er geen rekening gehouden in het onderzoek. Voor toekomstig onderzoek kunnen de voordelen hiervan nader bekeken worden. Hierbij kan er rekening gehouden worden met de investeringskosten, verwerkingskosten, loonkosten, kosten van VAS, et cetera.

Bronnen

- 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.
- Allen, J., Thorne, G., & Browne, M. (2007). BESTUFS good practice guide on urban freight transport.
- Bilbao-Ubillos, J. (2008). The costs of urban congestion: estimation of welfare losses arising from congestion on cross-town link roads. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 42(8), 1098-1108.
- Broadbuss, A., Browne, M., & Allen, J. (2015). Sustainable Freight: Impacts of the London Congestion Charge and Low Emissions Zones. *Transportation Research Record*, 2478(1), 1-11.
- Browne, M., Sweet, M., Woodburn, A., & Allen, J. (2005). Urban freight consolidation centres final report. *Transport Studies Group, University of Westminster*, 10.
- Buijsman, E., Cassee, F., Fischer, P., Hoogerbrugge, R., Maas, R., van der Swaluw, E., & van Zanten, M. (2013). Dossier Fijn stof. *Bilthoven, Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu (RIVM)*.
- Commission, E. (2014). *Living well, within the limits of our planet*. Retrieved from <http://ec.europa.eu/environment/pubs/pdf/factsheets/7eap/en.pdf>
- Crainic, T. G. (2008). City logistics. In *State-of-the-Art Decision-Making Tools in the Information-Intensive Age* (pp. 181-212): INFORMS.
- Cruz, C., & Montonen, A. (2015). *Implementation and impacts of low emission zones on freight activities in Europe: local schemes versus national schemes*.
- Demir, E., Huang, Y., Scholts, S., & Van Woensel, T. (2015). A selected review on the negative externalities of the freight transportation: Modeling and pricing. *Transportation research part E: Logistics and transportation review*, 77, 95-114.
- ec.europa.eu. (2013). Environment: New policy package to clean up Europe's air. Retrieved from https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/IP_13_1274
- Ellison, R. B., Greaves, S. P., & Hensher, D. A. (2013). Five years of London's low emission zone: Effects on vehicle fleet composition and air quality. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 23, 25-33.
- Erdoğan, G. (2017). An open source spreadsheet solver for vehicle routing problems. *Computers & operations research*, 84, 62-72.
- Gonzalez-Feliu, J., & Morana, J. (2010). Are city logistics solutions sustainable? The Cityporto case.
- Harlem, B. G. (1987). Our common future. *United Nations World Commission on Environment and Development (WCED), Rio de Janeiro*.
- Jacyna, M., & Szczepa, E. (2013). Holistic approach to the ecological cargo distribution in urban areas with the use of multi-modal transport. *WIT Transactions on the Built Environment*, 130, 53-65.
- Johnston, P., Everard, M., Santillo, D., & Robèrt, K.-H. (2007). Reclaiming the definition of sustainability. *Environmental science and pollution research international*, 14(1), 60-66.

- Juan, A., Mendez, C., Faulin, J., De Armas, J., & Grasman, S. (2016). Electric vehicles in logistics and transportation: A survey on emerging environmental, strategic, and operational challenges. *Energies*, 9(2), 86.
- Lia, F., Nocerino, R., Bresciani, C., COLORNI VITALE, A., & Luè, A. (2014). *Promotion of E-bikes for delivery of goods in European urban areas: an Italian case study*. Paper presented at the Transport Research Arena (TRA) 5th Conference: Transport Solutions from Research to Deployment.
- Lutz, M. (2014). *The Low Emission Zone in Berlin: Rationale, Impact and framework conditions*. Paper presented at the Presentation at LEZ workshop in Mexico city.
- Macharis, C., Melo, S. M. d. B. M. d., Woxenius, J., van Lier, T., Shaw, J., Ison, S., & Vrije Universiteit Brussel, S. (2014). *Sustainable Logistics*. Bingley, UNITED KINGDOM: Emerald Publishing Limited.
- Marinov, M., Giubilei, F., Gerhardt, M., Özkan, T., Stergiou, E., Papadopol, M., & Cabecinha, L. (2013). Urban freight movement by rail. *Journal of Transport Literature*, 7(3), 87-116.
- Melo, S., & Baptista, P. (2017). Evaluating the impacts of using cargo cycles on urban logistics: integrating traffic, environmental and operational boundaries. *European transport research review*, 9(2), 30.
- Mobiliteit, B. (2013). Strategisch plan voor het goederenvervoer in het Brussels Hoofdstedelijk Gewest. In.
- Nesterova, N., Quak, H., Balm, S., Roche-Ceraso, I., & Tretvik, T. (2013). State of the art of the electric freight vehicles implementation in city logistics. *FREVUE Project Deliverable D, 1*.
- Neuhold, G. (2005). *Cargo-Tram Zurich—The environmental savings of using other modes*. Paper presented at the First Bestufs II Conference, Amsterdam, June.
- Quak, Koffrie, Rooijen, V., & Nesterova. (2017). Validating Freight Electric Vehicles in Urban Europe. *D3. 2: Economics of EVs for City Logistics—Report. FREVUE*.
- Quak, & Nesterova. (2014). Towards zero emission urban logistics: Challenges and issues for implementation of electric freight vehicles in city logistics. *Sustainable Logistics*, 265-294.
- Savelsbergh, M., & Van Woensel, T. (2016). 50th anniversary invited article—city logistics: Challenges and opportunities. *Transportation Science*, 50(2), 579-590.
- Schliwa, G., Armitage, R., Aziz, S., Evans, J., & Rhoades, J. (2015). Sustainable city logistics—Making cargo cycles viable for urban freight transport. *Research in Transportation Business & Management*, 15, 50-57.
- Silva, A. B., & Ribeiro, A. (2009). *An integrated planning for cities to promote sustainable mobility*. Paper presented at the Proceedings of European Transport Conference.
- Strale, M. (2014). The cargo tram: Current status and perspectives, the example of Brussels. In *Sustainable Logistics* (pp. 245-263): Emerald Group Publishing Limited.
- Taniguchi, E., Thompson, R. G., & Yamada, T. (2014). Recent trends and innovations in modelling city logistics. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 125, 4-14.
- United Nations, D. o. E., & Social Affairs, P. D. (2018). World urbanization prospects: the 2018 revision, highlights.
- Upham, P. (2000). An assessment of The Natural Step theory of sustainability. *Journal of Cleaner Production*, 8(6), 445-454.

- Van Duin, J., 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.
- Van Duin, J., Wiegmans, B., Tavasszy, L., Hendriks, B., & He, Y. (2019). Evaluating new participative city logistics concepts: The case of cargo hitching. *Transp. Res. Procedia*, 39, 565-575.
- [www.dhl.com](https://www.dhl.com/be-nl/home/pers/persarchief/2019/dhl-express-start-pakjesdistributie-in-gent-met-cubicycle.html). (2019). DHL express start pakjesdistributie in Gent met cubicycle. Retrieved from <https://www.dhl.com/be-nl/home/pers/persarchief/2019/dhl-express-start-pakjesdistributie-in-gent-met-cubicycle.html>
- [www.frevue.eu](https://frevue.eu/about-us/impacts/). (z.d.). Impacts. Retrieved from <https://frevue.eu/about-us/impacts/>
- [www.lez-belgium.be](https://www.lez-belgium.be/nl/milieuzones.html). (z.d.). LEZ milieuzones in België. Retrieved from <https://www.lez-belgium.be/nl/milieuzones.html>
- [www.milieubarometer.nl](https://www.milieubarometer.nl/CO2-footprints/co2-footprint/piek-technische-service-bv-2016/). (2016). Piek Technische Service BV. Retrieved from <https://www.milieubarometer.nl/CO2-footprints/co2-footprint/piek-technische-service-bv-2016/>
- [www.nl.urbanaccessregulations.eu](https://nl.urbanaccessregulations.eu/low-emission-zones-main/impact-of-low-emission-zones#Berlin). (z.d.). Impact van Low Emission Zones. Retrieved from <https://nl.urbanaccessregulations.eu/low-emission-zones-main/impact-of-low-emission-zones#Berlin>
- [www.vlaanderen.be](https://www.vlaanderen.be/milieuvriendelijke-voertuigen). (z.d.). Milieuvriendelijke Voertuigen. Retrieved from <https://www.vlaanderen.be/milieuvriendelijke-voertuigen>
- [www.who.int](https://www.who.int/gho/phe/outdoor_air_pollution/burden/en/). (2016). Mortality and burden of disease from ambient air pollution. Retrieved from https://www.who.int/gho/phe/outdoor_air_pollution/burden/en/

Bijlagen

Bijlage 1: resultaten scenario's

Situatie 1: Scenario 0

Tabel 18: Gemiddelde afstand en tijd scenario 0, situatie 1.

Instance	Afstand Zonder DC			Afstand Met DC			Totale afstand met DC	Verschillen
	Lev 1	Lev 2	Totaal Afstand	Lev 1	Lev 2	Afstand DC		
1.	346,29	280,47	626,76	11,18	15,81	480,53	507,52	-119,24
2.	360,07	313,67	673,74	11,18	15,81	521,06	548,05	-125,69
3.	325,20	322,86	648,06	11,18	15,81	513,37	540,36	-107,70
4.	322,19	316,26	638,45	11,18	15,81	497,27	524,26	-114,19
5.	384,87	299,13	684,00	11,18	15,81	520,46	547,45	-136,55
Gemiddelde	347,72	306,48	654,2	11:18	15,81	506,54	533,53	-120,67

Instance	Tijd Zonder DC			Tijd Met DC			Totale tijd met DC	Verschillen
	Lev 1	Lev 2	Totaal tijd	Lev 1	Lev 2	Tijd DC		
1.	4:59	4:01	9:00	0:10	0:14	7:14	7:28	1:32
2.	5:09	4:28	9:37	0:10	0:14	7:33	7:47	1:50
3.	4:39	4:36	9:15	0:10	0:14	7:32	7:46	1:29
4.	4:37	4:32	9:09	0:10	0:14	7:21	7:35	1:34
5.	5:30	4:17	9:47	0:10	0:14	7:40	7:54	1:53
Gemiddelde	4:58	4:22	9:21	0:10	0:14	7:28	7:42	1:39

Tabel 19: Aantal ritten scenario 0, situatie 1.

Variatie	Lev 1	Lev 2	Totaal	UCC	Verschil
1.	2	2	4	4	0
2.	2	2	4	4	0
3.	2	2	4	4	0
4.	2	2	4	4	0
5.	3	2	5	4	1

Tabel 20: Capaciteitsbenutting scenario 0, situatie 1.

Variatie	Lev1	Lev2	Gemiddeld	UCC	Verschil
1.	93%	85%	89%	89%	0%
2.	94%	85%	89,5%	89,5%	0 %
3.	81%	82%	81,5%	81,5%	0%
4.	89%	91%	90%	90%	0%
5.	68,66%	82%	73,1%	92,5%	19,4%
Gemiddelde			84,62%	88,5%	3,88%

Situatie 1: Scenario 1

Tabel 21: Gemiddelde afstand en tijd scenario 1, situatie 1.

Variantie	Afstand Zonder DC			Afstand Met DC			Totale afstand met DC	Verschillen
	Lev 1	Lev 2	Totaal Afstand	Lev 1	Lev 2	Afstand DC		
1.	346,29	303,77	650,06	11,18	15,81	454,66	481,65	-168,41
2.	362,11	323,28	685,39	11,18	15,81	502,63	529,62	-155,77
3.	325,2	269,31	594,51	11,18	15,81	446,07	473,06	-121,45
4.	316,92	299,71	616,63	11,18	15,81	461,12	488,11	-128,52
5.	385,4	307,83	693,23	11,18	15,81	491,59	518,58	-174,65
Gemiddelde			647,96				498,2	-149,76
Variantie	Tijd Zonder DC			Tijd Met DC			Totale tijd met DC	Verschillen
	Lev 1	Lev 2	Totaal tijd	Lev 1	Lev 2	Tijd DC		
1.	4:59	4:22	9:21	0:10:00	0:14:00	6:41	6:55	2:26
2.	5:11	4:38	9:49	0:10:00	0:14:00	7:22	7:36	2:13
3.	4:39	3:50	8:29	0:10:00	0:14:00	6:33	6:47	1:42
4.	4:34	4:19		0:10:00	0:14:00	6:44	6:58	
5.	5:31	4:24	9:55	0:10:00	0:14:00	7:10	7:24	2:31
Gemiddelde						6:54	7:08	

Tabel 22: Aantal ritten scenario 1, situatie 1.

Variatie	Lev 1	Lev 2	Totaal	UCC	Verschil
1.	2	2	4	4	0
2.	2	2	4	4	0
3.	2	2	4	4	0
4.	2	2	4	4	0
5.	3	2	5	4	1

Tabel 23: Capaciteitsbenutting scenario 1, situatie 1.

Variatie	Lev1	Lev2	Gemiddeld	UCC	Verschil
1.	93%	85%	89%	89%	0%
2.	94%	85%	89,5	89,5%	0%
3.	81%	82%	81,5	81,5%	0%
4.	89%	91%	90%	90%	0%
5.	67,33%	84%	75,67%	92,5%	16,83%
Gemiddelde			85,13%	88,5%	3,37%

Situatie 1: Scenario 2

Tabel 24: Gemiddelde afstand en tijd scenario 1, situatie 1.

Variantie	Afstand Zonder DC			Afstand Met DC			Totale afstand met DC	Verschillen
	Lev 1	Lev 2	Totaal Afstand	Lev 1	Lev 2	Afstand DC		
1.	440,99	203,47	644,46	11,18	15,81	485,26	512,25	-132,21
2.	460,61	289,68	750,29	11,18	15,81	522,22	549,21	-201,08
3.	431,84	246,26	678,1	11,18	15,81	517,53	544,52	-133,58
4.	428,35	255,12	683,47	11,18	15,81	497,27	524,26	-159,21
5.	468,14	206,88	675,02	11,18	15,81	519,7	546,69	-128,33
Gemiddelde			686,27	11,18	15,81		535,39	-150,88

Variantie	Tijd Zonder DC			Tijd Met DC			Totale tijd met DC	Verschillen
	Lev 1	Lev 2	Totaal tijd	Lev 1	Lev 2	Tijd DC		
1.	6:20	2:56	9:16	0:10	0:14	6:59	7:23	1:53:00
2.	6:34	4:08	10:42	0:10	0:14	7:34	7:48	2:54:00
3.	6:12	3:32	9:44	0:10	0:14	7:31	7:45	1:59:00
4.	6:11	3:39	9:50	0:10	0:14	7:21	7:35	2:15:00
5.	6:44	2:59	9:43	0:10	0:14	7:39	7:53	1:50:00
Gemiddelde			9:51	0:10	0:14		7:40	2:10

Tabel 25: Aantal ritten scenario 2, situatie 1.

Variatie	Lev 1	Lev 2	Totaal	UCC	Verschil
1.	3	1	4	4	0
2.	3	2	5	4	1
3.	3	1	4	4	0
4.	3	2	5	4	1
5.	3	2	5	4	1

Tabel 26: Capaciteitsbenutting scenario 1, situatie 1.

Variatie	Lev1	Lev2	Gemiddeld	UCC	Verschil
1.	85,33%	100%	89%	89%	0%
2.	76,67%	59%	69,6%	89,5%	19,9%
3.	75,33%	100%	81,5%	81,5%	0%
4.	82%	57%	72%	90%	18%
5.	89,33%	51%	74%	92,5%	18,5%
Gemiddelde			77,82%	88,5%	10,68%

Situatie 2: Scenario 0

Tabel 27: Gemiddelde afstand en tijd scenario 0, situatie 2.

Variantie	Afstand Zonder DC			Afstand Met DC			Totale afstand met DC	Verschillen
	Lev 1	Lev 2	Totaal Afstand	Lev 1	Lev 2	Afstand DC		
1.	405,81	286,28	629,09	26,93	11,18	480,53	518,64	-173,45
2.	412,57	313,21	725,78	26,93	11,18	521,06	559,17	-166,61
3.	377,05	329,91	706,96	26,93	11,18	513,37	551,48	-155,48
4.	379,96	310,2	690,16	26,93	11,18	497,27	535,38	-154,78
5.	465,67	303,24	768,91	26,93	11,18	520,46	558,57	-210,34
Gemiddelde			704,18	26,93	11,18	506,54	544,65	-172,13

Variantie	Tijd Zonder DC			Tijd Met DC			Totale tijd met DC	Verschillen
	Lev 1	Lev 2	Totaal tijd	Lev 1	Lev 2	Tijd DC		
1.	5:48	4:06	9:54	00:23	0:10	7:14	7:47	2:07
2.	5:52	4:27	10:19	00:23	0:10	7:33	8:06	2:13
3.	5:26	4:41	10:07	00:23	0:10	7:32	8:05	2:02
4.	5:26	4:27	9:53	00:23	0:10	7:21	7:54	1:59
5.	6:39	4:20	10:59	00:23	0:10	7:40	8:13	2:46
Gemiddelde			10:14	00:23	0:10	7:28	8:01	2:13

Tabel 28: Aantal ritten scenario 0, situatie 2.

Variatie	Lev 1	Lev 2	Totaal	UCC	Verschil
1.	2	2	4	4	0
2.	2	2	4	4	0
3.	2	2	4	4	0
4.	2	2	4	4	0
5.	3	2	5	4	1

Tabel 29: Capaciteitsbenutting scenario 0, situatie 2.

Variatie	Lev1	Lev2	Gemiddeld	UCC	Verschil
1.	93%	85%	89%	89%	0%
2.	94%	85%	89,5%	89,5%	0%
3.	81%	82%	81,5%	81,5%	0%
4.	89%	91%	90%	90%	0%
5.	68,66%	82%	75,33%	92,5%	17,17%
Gemiddelde			85,1%	88,5%	3,4%

Situatie 2: Scenario 1

Tabel 30: Gemiddelde afstand en tijd scenario 1, situatie 2.

Variantie	Afstand Zonder DC			Afstand Met DC			Totale afstand met DC	Verschillen
	Lev 1	Lev 2	Totaal Afstand	Lev 1	Lev 2	Afstand DC		
1.	405,81	306,48	712,29	26,93	11,18	454,66	492,77	-219,52
2.	412,57	327,4	739,97	26,93	11,18	502,63	540,74	-199,23
3.	377,05	278,44	655,49	26,93	11,18	446,07	484,18	-171,31
4.	374,29	303,86	678,15	26,93	11,18	461,12	499,23	-178,92
5.	464,16	314,84	779	26,93	11,18	491,59	529,7	-249,3
Gemiddelde			712,98	26,93	11,18	471,21	509,32	203,66

Variantie	Tijd Zonder DC			Tijd Met DC			Totale tijd met DC	Verschillen
	Lev 1	Lev 2	Totaal tijd	Lev 1	Lev 2	Tijd DC		
1.	5:48	4:24	10:12	00:23	0:10	6:41	7:14	2:58
2.	5:52	4:41	10:33	00:23	0:10	7:22	7:55	2:38
3.	5:26	3:58	9:24	00:23	0:10	6:33	7:06	2:18
4.	5:23	4:22	9:45	00:23	0:10	6:44	7:17	2:28
5.	6:37	4:29	11:06	00:23	0:10	7:10	7:43	3:23
Gemiddelde			10:12	00:23	0:10		7:27	2:45

Tabel 31: Aantal ritten scenario 1, situatie 2.

Variatie	Lev 1	Lev 2	Totaal	UCC	Verschil
1.	2	2	4	4	0
2.	2	2	4	4	0
3.	2	2	4	4	0
4.	2	2	4	4	0
5.	3	2	5	4	1

Tabel 32: Capaciteitsbenutting scenario 1, situatie 2.

Variatie	Lev1	Lev2	Gemiddeld	UCC	Verschil
1.	93%	85%	89%	89%	0
2.	94%	85%	89,5%	89,5%	0
3.	81%	82	81,5%	81,5%	0
4.	89%	91	90%	90%	0
5.	67,33%	84%	74%	92,5%	18,5%
Gemiddelde			84,8%	88,5%	3,7%

Situatie 2: Scenario 2

Tabel 33: Gemiddelde afstand en tijd scenario 2, situatie 2.

Variantie	Afstand Zonder DC			Afstand Met DC			Totale afstand met DC	Verschillen
	Lev 1	Lev 2	Totaal Afstand	Lev 1	Lev 2	Afstand DC		
1.	518,84	208,34	727,18	26,93	11,18	485,26	523,37	-203,81
2.	549,14	272,05	821,19	26,93	11,18	522,22	560,33	-260,86
3.	515,9	252,64	768,54	26,93	11,18	517,53	555,64	-212,9
4.	518,58	262,64	781,22	26,93	11,18	497,27	535,38	-245,84
5.	553,77	206,74	760,51	26,93	11,18	519,7	557,81	-202,7
Gemiddelde			771,73	26,93	11,18	508,4	546,51	225,22

Variantie	Tijd Zonder DC			Tijd Met DC			Totale tijd met DC	Verschillen
	Lev 1	Lev 2	Totaal tijd	Lev 1	Lev 2	Tijd DC		
1.	7:28	3:01	10:29	00:23	0:10	6:59	7:32	2:57
2.	7:48	3:53	11:41	00:23	0:10	7:34	8:07	3:34
3.	7:24	3:37	11:01	00:23	0:10	7:31	8:04	2:57
4.	7:27	3:45	11:12	00:23	0:10	7:21	7:54	3:18
5.	7:55	2:58	10:53	00:23	0:10	7:39	8:12	2:41
Gemiddelde			11:03	00:23	0:10		7:57	3:05

Tabel 34: Aantal ritten scenario 2, situatie 2.

Variatie	Lev 1	Lev 2	Totaal	UCC	Verschil
1.	3	1	4	4	0
2.	3	2	5	4	1
3.	3	1	4	4	0
4.	3	2	5	4	1
5.	3	2	5	4	1

Tabel 35: Capaciteitsbenutting scenario 2, situatie 2.

Variatie	Lev1	Lev2	Gemiddeld	UCC	Verschil
1.	85,33%	100%	71,2%	89%	17,8%
2.	80%	59%	71,6%	89,5%	17,9%
3.	75,33%	100%	65,2%	81,5%	16,3%
4.	82%	57%	72%	90%	18%
5.	89,33%	51%	74%	92,5%	18,5%
Gemiddelde			70,8%	88,5%	17,7%