



UHASSELT

KNOWLEDGE IN ACTION

Faculteit Bedrijfseconomische Wetenschappen

master in de handelswetenschappen

Masterthesis

Op zoek naar meer duurzame levermethodes voor online bestellingen

Elien Briesen

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

PROMOTOR :

Prof. dr. Stef MOONS

COPROMOTOR :

dr. Yves MOLENBRUCH



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

Op zoek naar meer duurzame levermethodes voor online bestellingen

Elien Briesen

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

PROMOTOR :

Prof. dr. Stef MOONS

COPROMOTOR :

dr. Yves MOLENBRUCH

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. De impact was echter beperkt aangezien er gebruik werd gemaakt van artificieel gegenereerde data voor het empirisch gedeelte van de masterproef.

Woord vooraf

Deze masterproef is geschreven als sluitstuk van mijn masteropleiding Handelswetenschappen aan de Universiteit Hasselt. Het onderwerp 'Op zoek naar meer duurzame levermethodes voor online bestellingen' kadert in de afstudeerrichting Supply Chain Management. Mijn interesse voor dit onderwerp werd gestimuleerd door het feit dat e-commerce een actueel onderwerp is waarbij de organisatie van het transport logistieke uitdagingen met zich meebrengt. In dit onderzoek verdiep ik me dan ook in het zoeken naar een alternatieve levermethode voor last mile leveringen.

Tot slot zou ik graag mijn promotor prof. dr. Stef Moons en mijn copromotor dr. Yves Molenbruch willen bedanken voor de begeleiding en de opvolging gedurende dit hele onderzoek. De verbeteringen en aanbevelingen tijdens de verschillende feedbackmomenten waren van grote waarde voor dit onderzoek. Op deze manier kon mijn onderzoek tijdig worden bijgestuurd indien dit nodig was.

Elien Briesen

Diepenbeek, 5 juni 2020

Samenvatting

De Belgische e-commerce blijft aan populariteit toenemen. Steeds meer consumenten kopen online producten en diensten aan (BeCommerce, 2019). Door de groei van het online shoppen neemt ook de vraag naar leveringen aan huis toe. Bij e-commerce van fysieke producten is namelijk een levering vereist om de producten ter beschikking van de consument te stellen. Het gebruik van e-commerce en de thuisbezorging hebben een impact op de mobiliteit en dit op zowel het personentransport als het goederentransport. Uit de onderzoeken die de impact van de thuisbezorging op het goederentransport bestuderen komen eenduidige conclusies naar voren. Indien Consumenten online aankopen, doen ze dit vaak frequent en in kleine hoeveelheden. Hierdoor neemt de vraag naar goederentransport toe en wordt de *last mile*, het laatste stadium van de toeleveringsketen, door een groot aantal kleine bestelwagens. Wat de impact op het personentransport is, is nog onduidelijk. Uit verschillende onderzoeken naar het effect van de thuisbezorging op het personentransport komen diverse conclusies naar voren. De levering aan huis vervangt namelijk niet altijd de shoppingstrip naar een fysieke winkel. Het is mogelijk dat de consumenten verschillende activiteiten in één trip uitvoeren. Het weglaten van een tussenstop aan een fysieke winkel heeft in dat geval geen effect op de lengte van de trip.

Naar verwachting zal het aantal online aankopen en bijgevolg de vraag naar leveringen aan huis in de toekomst nog toenemen. De toenemende druk op het Belgische wegennet zal tot meer congestie en milieuvuiling leiden. Onderzoek naar alternatieve levermethodes is dan ook van aanhoudend belang om duurzame en efficiënte leveringen te bekomen. Het gebruik van ophaalpunten wordt in de bestaande literatuur voorgesteld als een alternatieve levermethode voor online bestellingen. Ophaalpunten zijn locaties waar consumenten hun online bestelling kunnen ophalen. Een ophaalpunt kan een afleverpunt in een winkel zijn of lockerautomaten op openbare plaatsen. Om te onderzoeken of ophaalpunten een efficiënte alternatieve levermethode zijn voor de leveringen van online bestellingen, wordt in deze masterproef de volgende onderzoeksvraag beantwoord.

'Wat is het effect van ophaalpunten als alternatieve levermethode voor online bestellingen op het transport?'

Bovenstaande onderzoeksvraag wordt beantwoord door middel van een literatuurstudie en een empirisch onderzoek. De literatuurstudie is opgebouwd in vier hoofdstukken. In het eerste hoofdstuk wordt het begrip e-commerce gedefinieerd. In het tweede hoofdstuk wordt de Belgische e-commerce aan de hand van cijfergegevens beschreven. In het derde hoofdstuk worden de levermethodes, waaronder de thuisbezorging, de ophaalpunten en een aantal innovatieve levermethodes besproken. In dit hoofdstuk worden onder andere de voornaamste bevindingen uit de huidige literatuur over de impact van de levermethodes op het personentransport en het goederentransport bestudeerd. In het vierde hoofdstuk wordt ten slotte een korte introductie gegeven tot het Vehicle Routing Problem dat het onderliggende optimalisatieprobleem is dat bezorgingsdiensten in hun dagelijkse werking dienen op te lossen om een efficiënte rittenplanning te creëren waarin alle klanten op een zo goedkoop mogelijke wijze bediend worden.

Het doel van de empirische studie is om, aan de hand van een artificiële dataset, de impact van ophaalpunten op de rittenplanning te kwantificeren door het percentage consumenten dat ervan gebruik maakt te variëren. De VRP Spreadsheet Solver, een metaheuristisch rittenplanningsalgoritme, wordt gebruikt om in elk scenario een efficiënte set van routes te bepalen. De optimale routes worden bepaald door de afstand van het goederentransport te minimaliseren. De scenario's worden op basis van de volgende drie KPI's met elkaar vergeleken: de afgelegde afstand, de transportkosten en de levertijd. Naast het algemene effect van de ophaalpunten wordt de impact op het effect van de ophaalpunten voor drie bijkomende parameters bestudeerd.

De eerste parameter heeft betrekking op de geografische spreiding van de consumenten. De consumenten kunnen namelijk geclusterd gesitueerd zijn of willekeurig verspreid afhankelijk van het feit of ze in een stedelijke omgeving of op het platteland wonen. Een tweede parameter is het feit dat consumenten het ophalen van hun pakket aan een ophaalpunt mogelijk linken met andere activiteiten hetgeen de impact op het personenvervoer mogelijk kan verlichten. Consumenten doen in dat geval aan *trip chaining*. Om de impact van deze parameter te bestuderen wordt het percentage van de consumenten dat aan *trip chaining* doet gevarieerd. Door middel van de derde parameter wordt onderzocht of het gebruik van tijdsvensters een impact heeft op het effect van de ophaalpunten op het transport. Indien consumenten een tijdsvenster vooropstellen, moeten de leveringen plaatsvinden in het tijdsinterval dat wordt aangegeven door het betreffende tijdsvenster. De impact van deze parameter wordt ook bestudeerd door het percentage van de consumenten dat een tijdsvenster vooropstelt te variëren.

Op basis van de resultaten met betrekking tot het algemene effect van ophaalpunten op het transport wordt vastgesteld dat het gebruik van ophaalpunten resulteert in een daling van de afgelegde afstand, de transportkosten en de levertijd in het goederentransport. Deze effecten worden veroorzaakt doordat de *last mile* bij het gebruik van ophaalpunten door de consumenten wordt uitgevoerd en bezorgingsdiensten bijgevolg aan een beperkter aantal locaties moeten leveren. Uit de resultaten van het algemene effect van de ophaalpunten op het personenvervoer kan daarentegen worden vastgesteld dat de ophaalpunten een stijging van de afgelegde afstand en de transportkosten van het personenvervoer teweegbrengen. De leveringen aan huis worden vervangen door de leveringen aan ophaalpunten. Consumenten moeten in dat geval een bijkomende trip tot aan de ophaalpunten afleggen. De stijging van de afstand van het personenvervoer wordt echter niet gecompenseerd door de daling van de afstand van het goederentransport. Hierdoor resulteert het gebruik van ophaalpunten in een negatieve netto mobiliteit.

De eerste besproken parameter die mogelijk een impact heeft op het effect van de ophaalpunten op het transport is het feit dat consumenten mogelijk aan *trip chaining* doen. De resultaten tonen aan dat indien consumenten aan *trip chaining* doen het gebruik van ophaalpunten nog steeds een stijging van de afstand en de transportkosten van het personenvervoer teweegbrengt. De stijging is echter minder sterk indien consumenten het ophalen van een pakket aan een ophaalpunt linken aan andere activiteiten. De afstand naar het ophaalpunt is in dat geval namelijk geen bijkomende afstand. Het goederentransport wordt niet beïnvloed door *trip chaining*. Ondanks het feit dat de stijging van de

afstand van het personenvervoer minder sterk is, wordt deze opnieuw niet gecompenseerd door de daling van de afstand van het goederenvervoer waardoor de netto mobiliteit nog steeds negatief is.

De tweede besproken parameter die mogelijk een impact heeft op het effect van de ophaalpunten op het vervoer is de geografische spreiding van de consumenten. Consumenten kunnen namelijk geclusterd zijn of willekeurig verspreid. Op basis van de resultaten wordt vastgesteld dat voor beide geografische spreidingen de afstand en de vervoerkosten van het goederenvervoer dalen en de afstand en vervoerkosten van het personenvervoer stijgen naarmate meer consumenten gebruik maken van een ophaalpunt. De daling van het goederenvervoer en de stijging van het personenvervoer zijn echter sterker indien consumenten willekeurig verspreid zijn. De afstand tussen de verschillende consumenten is namelijk groter indien consumenten willekeurig verspreid zijn. Hierdoor kunnen bezorgers meer afstand reduceren door aan ophaalpunten te leveren. Daarnaast tonen de resultaten van de netto mobiliteit aan dat ophaalpunten voor beide geografische spreidingen resulteert in een negatieve netto mobiliteit, deze is echter het meest negatief wanneer consumenten willekeurig verspreid zijn.

Ten slotte wordt nagegaan of het vooropstellen van tijdsvenster een impact heeft op het effect van de ophaalpunten. Indien willekeurig verspreide consumenten een tijdsvenster vooropstellen, blijkt uit de resultaten dat de daling van het goederenvervoer sterker is wanneer consumenten een tijdsvenster vooropstellen. Indien consumenten tijdsvensters vooropstellen, is het moeilijker om afstandsefficiënte routeplannen op te stellen. Het gebruik van tijdsvensters is namelijk een bijkomende randvoorwaarde waarmee rekening moet gehouden worden. Wanneer meerdere pakketten van consumenten dan op een gecentraliseerde locatie, namelijk de ophaalpunten, worden geleverd is het eenvoudiger om efficiënte routes op te stellen. Bovendien mogen de bezorgingsdiensten bij de levering aan een ophaalpunt voor de start van het tijdsvenster leveren. Op basis van de resultaten kan niet worden vastgesteld of deze daling sterker of zwakker is indien consumenten geclusterd zijn. Het personenvervoer wordt bovendien niet beïnvloed door het vooropstellen van tijdsvensters.

Op basis van de resultaten en vaststellingen uit dit onderzoek kan geconcludeerd worden dat het gebruik van ophaalpunten voordelig is voor bezorgingsdiensten. De daling van de afstand en de levertijd resulteert namelijk in een kostendaling. Het gebruik van ophaalpunten is voor de consumenten daarentegen niet voordelig met betrekking tot de KPI's bestudeerd in dit onderzoek. Zij leggen namelijk meer afstand af waardoor de kosten toenemen. Ook kan worden vastgesteld dat de ophaalpunten in termen van de netto mobiliteit geen efficiënte alternatieve methode is voor de aan huis leveringen van online bestellingen. De totale afstand en kosten stijgen namelijk door het gebruik van ophaalpunten. Echter moet rekening gehouden worden met het feit dat niet alle parameters die een invloed hebben op het effect van de ophaalpunten in rekening werden gebracht. Zo wordt in dit onderzoek geen rekening gehouden met de mogelijkheid dat niet-succesvolle eerste leveringen kunnen plaatsvinden. Indien de consument niet thuis is wanneer het pakket geleverd wordt, wordt het pakket later opnieuw aan huis geleverd of aan een ophaalpunt geleverd. Indien de

ophaalpunten de eerste leverlocatie is, worden niet-succesvolle leveringen vermeden. Met andere woorden, deze parameter heeft mogelijk ook een impact op het effect van ophaalpunten.

Inhoudsopgave

1	Probleemstelling	1
1.1	Onderzoeksvragen	4
1.1.1	Centrale onderzoeksvraag	4
1.1.2	Deelvragen	4
1.2	Onderzoeksmethode	6
2	E-commerce	7
2.1	Definitie e-commerce	7
2.2	Soorten e-commerce	8
2.2.1	Business-to-Consumer e-commerce	8
2.2.2	Offline-to-Online e-commerce	8
2.2.3	Customer-to-Customer e-commerce	8
2.2.4	Business-to-Business e-commerce	8
3	E-commerce in België: feiten en cijfers	10
3.1	Groei van e-commerce in België	10
3.2	Toekomst van Belgische e-commerce	11
3.3	Belgische e-shopper	12
3.3.1	Voorkeuren van de e-shopper	12
3.3.2	Stimulerende en belemmerende factoren	14
3.4	Belgische e-bedrijven	15
4	Levermethodes van e-commerce bestellingen	16
4.1	Thuisbezorgingen	16
4.1.1	Mobiliteitseffect op personentransport	16
4.1.2	Mobiliteitseffect op goederentransport	23
4.1.3	Netto mobiliteitseffect	25
4.2	Ophaalpunten	26
4.2.1	Afleverpunten in winkels	26
4.2.2	Lockerautomaten op openbare plaatsen	26
4.2.3	Mobiliteitseffect op personentransport	27
4.2.4	Mobiliteitseffect op goederentransport	28
4.2.5	Netto mobiliteitseffect	29
4.3	Voor- en nadelen van de levermethodes van e-commerce bestellingen	30

4.3.1	De consument.....	30
4.3.2	Bezorgingsdiensten en e-bedrijven	31
4.4	Innovatieve levermethodes	33
4.4.1	Kofferruimte van een auto	33
4.4.2	Cargofietsen	34
4.4.3	Drones	35
5	Het Vehicle Routing Problem	37
6	Methodologie	39
6.1	Doelstellingen.....	39
6.2	Dataset.....	42
6.3	VRP Spreadsheet Solver.....	42
6.4	Analyses	43
7	Resultaten	46
7.1	Het algemene effect van ophaalpunten	46
7.1.1	Mobiliteitseffect op goederentransport.....	46
7.1.2	Mobiliteitseffect personentransport	52
7.1.3	Netto mobiliteitseffect	53
7.2	Het effect van ophaalpunten: trip chaining	55
7.2.1	Mobiliteitseffect personentransport	55
7.2.2	Netto mobiliteitseffect	57
7.3	Het effect van ophaalpunten: geclusterde consumenten versus willekeurig verspreide consumenten	59
7.3.1	Mobiliteitseffect goederentransport	59
7.3.2	Mobiliteitseffect personentransport	60
7.3.3	Netto mobiliteitseffect	60
7.4	Het effect van ophaalpunten: tijdsvensters.....	61
7.4.1	Mobiliteitseffect goederentransport	61
7.4.2	Mobiliteitseffect personentransporttransport	65
8	Conclusies.....	66
9	Limitaties en aanbevelingen voor verder onderzoek	69

Lijst met Figuren

Figuur 1: Vergelijking e-business en e-commerce (TNO, 2002)	7
Figuur 2: Percentage van de Belgische populatie die een online aankoop heeft verricht (Comeos, 2018)	10
Figuur 3: Percentage van de top 3 van de dienstencategorieën die online worden aangekocht (BeCommerce, 2019).....	12
Figuur 4: Percentage van een bepaalde productcategorie die online worden aangekocht (Comeos, 2018)	12
Figuur 5: Percentage van de Belgische populatie die een online aankoop hebben verricht door middel van een smartphone of tablet (Comeos, 2018).....	13
Figuur 6: Percentage van de leveringen dat geleverd werd door middel van een bepaalde levermethode (Comeos, 2018).....	13
Figuur 7: Evolutie van het aantal Belgische webshops (House of Marketing, 2018)	15
Figuur 8: Verschillende levermethodes van e-commerce bestellingen (aangepast van Moroz en Polkowski, 2016).....	16
Figuur 9: Legende Figuur 10 tot Figuur 13 (eigen werk)	17
Figuur 10: Substitutie-effect van de thuisbezorging op het personenvervoer (eigen werk).....	17
Figuur 11: Neutrale impact van e-commerce op het personenvervoer (eigen werk)	19
Figuur 12: Complementariteitseffect van e-commerce op het personenvervoer (eigen werk)	19
Figuur 13: Modificatie-effect van e-commerce op het personenvervoer (eigen werk)	20
Figuur 14: Traditioneel distributiesysteem (eigen werk)	23
Figuur 15: Distributiesysteem thuisbezorgingen (eigen werk)	24
Figuur 16: Cubee pakjesautomaat (https://cubee.be)	27
Figuur 17: Distributiesysteem ophaalpunten (eigen werk)	28
Figuur 18: Cargofietsen van DHL (https://www.dhlexpress.be)	34
Figuur 19: Levering van online bestellingen door middel van cargofietsen (eigen werk).....	35
Figuur 20: Routeplan scenario 1 geclusterde consumenten (instance 2)	48
Figuur 21: Routeplan scenario 4 geclusterde consumenten (instance 2)	48
Figuur 22: Routeplan scenario 1 willekeurig verspreide consumenten (instance 4).....	50
Figuur 23: Routeplan scenario 4 willekeurig verspreide consumenten (instance 4).....	51

Lijst met tabellen

Tabel 1: Overzicht van onderzoeken met betrekking tot het effect van e-commerce op het transport	21
<i>Tabel 2: Overzicht van de ophaalpunten in België.....</i>	<i>27</i>
Tabel 3: Vergelijking van de sterktes en zwaktes van de verschillende levermethodes	30
Tabel 4: Parameters en bijhorende parametersettings	40
Tabel 5: Overzicht van analyses en toegepaste parameters per fase	43
Tabel 6: Resultaten van het effect van ophaalpunten op het goederentransport voor geclusterde consumenten	47
Tabel 7: Resultaten van de afwijking van de procentuele veranderingen van het goederentransport voor geclusterde consumenten.....	49
Tabel 8: Resultaten van het effect van ophaalpunten op het goederentransport voor willekeurig verspreide consumenten	50
Tabel 9: Resultaten van de afwijking van de procentuele veranderingen van het goederentransport voor willekeurig verspreide consumenten	51
Tabel 10: Resultaten van het effect van ophaalpunten op het personen­transport voor geclusterde consumenten	52
Tabel 11: Resultaten van het effect van ophaalpunten op het personen­transport voor willekeurig verspreide consumenten	53
Tabel 12: Resultaten van het effect van ophaalpunten op het totale transport voor geclusterde consumenten	54
Tabel 13: Resultaten van het effect van ophaalpunten op het totale transport voor willekeurig verspreide consumenten	54
Tabel 14: Resultaten van het effect van ophaalpunten op het personen­transport voor verschillende niveaus van trip chaining voor geclusterde consumenten.....	56
Tabel 15: Resultaten van het effect van ophaalpunten op het personen­transport voor verschillende niveaus van trip chaining voor willekeurig verspreide consumenten	57
Tabel 16: Netto mobiliteitseffect van ophaalpunten voor verschillende niveaus van trip chaining voor geclusterde consumenten	58
Tabel 17: Netto mobiliteitseffect van ophaalpunten voor verschillende niveaus van trip chaining voor willekeurig verspreide consumenten	58
Tabel 18: Resultaten van het effect van ophaalpunten op het goederentransport met de toepassing van tijdsvensters voor geclusterde consumenten	63
Tabel 19: Resultaten van het effect van ophaalpunten op het goederentransport met de toepassing van tijdsvensters voor willekeurig verspreide consumenten	65

Onderzoeksplan

1 Probleemstelling

Tegenwoordig wordt steeds meer gebruik gemaakt van het internet en dat heeft een invloed op de koopgewoonten van de consumenten (Morganti, Seidel, Blanquart, Dabanc, & Lenz, 2014; Weltevreden & Rotem-Mindali, 2009). Door middel van het internet kunnen consumenten makkelijker prijzen vergelijken en beschikken ze over een groot aanbod aan producten zonder dat ze het huis moeten verlaten. E-commerce zit in de lift. Er worden namelijk steeds meer producten en diensten online gekocht (Morganti et al., 2014). Zo toont een onderzoek van BeCommerce (2020) naar e-commerce in België aan dat de Belgische e-shopper 11,46 miljard euro online heeft uitgegeven in 2019. Dat is 0,8 miljard euro meer dan in 2018. En dat bedrag zal in de toekomst waarschijnlijk nog toenemen (BeCommerce, 2020).

Door de groei van het online shoppen zal ook de vraag naar het goederentransport toenemen. Voornamelijk leveringen aan huis, uitgevoerd met kleine bestelwagens, nemen toe omdat de consument deze levermethode verkiest boven alternatieve levermethodes (Weltevreden, 2008). Het pakket wordt dan aan de consument zijn persoonlijke adres geleverd of aan een door de consument gekozen adres, bijvoorbeeld op het werk of bij de burens. Daarnaast beschikt niet elke online webshop over een fysieke winkel. Leveringen aan huis zijn in dat geval noodzakelijk om een product tot bij de consument te brengen (Visser, Nemoto, & Browne, 2014).

Het gebruik van e-commerce en thuisbezorging hebben een impact op de mobiliteit. Meer bepaald heeft het een impact op zowel het personenvervoer als het goederentransport (Weltevreden & Rotem-Mindali, 2009; Rotem-Mindali & Weltevreden, 2013). In de bestaande literatuur werd de impact van de thuisbezorgingen op de mobiliteit reeds bestudeerd. Uit de onderzoeken blijkt dat er verschillende conclusies getrokken kunnen worden betreffende de mobiliteitsgevolgen van de aan huis leveringen op het personenvervoer. Het is namelijk niet duidelijk of de aan huis leveringen van de online aangekochte producten tot minder of net meer personenvervoer zal leiden. Zo zijn er onderzoeken die aangeven dat e-commerce tot minder personenvervoer zal leiden (bv. Bhat, Sivakumar & Axhausen, 2003; Corpuz & Peachman, 2003; Weltevreden & Rotem-Mindali, 2009; Weltevreden, 2007; Shi, De Vos, Yang & Witlox, 2019) omdat de trip van de consument naar een fysieke winkel vervangen wordt door een levering aan huis. Andere onderzoekers geven dan weer aan dat e-commerce tot meer personenvervoer zal leiden doordat het online zoeken naar producten een trip naar de fysieke winkel genereert (bv. Farag, Krizek & Dijst, 2006). Sommige onderzoeken tonen dan weer aan dat e-commerce eerder een beperkte of neutrale impact heeft op het personenvervoer (bv. Sim & Koi, 2002; Visser & Lanzendorf, 2003; Mokhtarian, 2004). Deze onderzoekers geven namelijk aan dat sommige shoppingtrips aan elkaar gelinkt zijn en dat het weghalen van een stop in de trip geen effect heeft op het personenvervoer. Het mobiliteitseffect dat uiteindelijk domineert hangt af van de definiëring van de begrippen, de assumpties en de onderzoeksmethoden (Rotem-Mindali & Weltevreden, 2013).

Onderzoeken met betrekking tot het goedertransport zijn daarentegen eenduidiger in hun conclusies. E-commerce zal doorgaans tot een grote vraag naar goedertransport leiden en zal een invloed hebben op het distributiesysteem (Weltevreden & Rotem-Mindali, 2009; Visser et al., 2014). In een traditioneel distributiesysteem worden grote volumes tussen de partners van de toeleveringsketen vervoerd. Hierdoor wordt de capaciteit van de vrachtwagens optimaal en efficiënt gebruikt. Het *last mile* transport, het laatste stadium van de toeleveringsketen, wordt uitgevoerd door de consument die het product in een fysieke winkel aankoopt. Het distributiesysteem dat van toepassing is bij e-commerce, wordt daarentegen gekenmerkt door kleinere zendingen, enkelvoudige bestellingen en dus een hogere leverfrequentie. De *last mile* wordt in dat geval uitgevoerd door een groot aantal kleine bestelwagens (Visser et al., 2014).

Zoals eerder werd aangehaald, wordt er verwacht dat het aantal online aankopen in de toekomst nog zal toenemen (BeCommerce, 2019). Dat betekent dat er meer leveringen zullen plaatsvinden en een groter aantal kleine bestelwagens op het Belgische wegennet aanwezig zullen zijn. Er is een toenemende bezorgdheid dat de druk op het wegverkeer, veroorzaakt door de aan huis geleverde online aankopen, meer congestie en verhoogde milieuvervuiling tot gevolg zal hebben (Morganti et al., 2014; Reyes, Savelsbergh, & Toriello, 2017). Onderzoek naar alternatieve leveringsmethodes is dus van aanhoudend belang om duurzame en efficiënte leveringen te bekomen.

Een alternatieve levermethode voor leveringen aan huis is het gebruik van ophaalpunten. Dit alternatief brengt een aantal voor- en nadelen met zich mee (Weltevreden, 2008). Het gebruik van de ophaalpunten zal mogelijk tot een verbeterde routeplanning leiden en dat is voordelig voor verschillende actoren waaronder de consument, de bezorgingsdiensten en de maatschappij. Op de eerste plaats ervaren consumenten voordelen doordat een verbeterde routeplanning geassocieerd wordt met een verbeterde dienstverlening. Bij leveringen aan huis moet de bezorgingsdienst vaak wachten voordat de consument het pakket aanneemt. Deze verloren wachttijd kan vermeden worden wanneer consumenten hun pakket in een ophaalpunt afhalen. De bezorgingsdienst kan hierdoor de levertijd reduceren. Daarnaast moeten de consumenten niet thuisblijven om een pakket in ontvangst te nemen. Ze zijn namelijk in staat om de online aangekochte producten op te halen in een ophaalpunt op het tijdstip dat voor hun het beste uitkomt (Weltevreden, 2008).

Op de tweede plaats behaalt de bezorgingsdienst voordelen uit het gebruik van ophaalpunten. Zoals reeds werd aangehaald wordt een verbeterde routeplanning geassocieerd met een verbeterde dienstverlening. Uit marktonderzoek is gebleken dat de dienstverlening een fundamentele factor is die de keuze van de consument voor een bepaalde webshop beïnvloed (Visser et al., 2014). Bedrijven kunnen zich dus onderscheiden van de concurrenten door een verbeterde routeplanning. Daarnaast is de transporteur bij het gebruik van ophaalpunten in staat om de bestellingen van de webshops te bundelen en maakt daardoor efficiënt gebruik van de laadcapaciteit van de bestelwagens (Visser et al., 2014). Verder brengt het gebruik van ophaalpunten als levermethode een kostendaling teweeg. De kostendaling kan betrekking hebben tot een daling van de externe en/of interne kosten (Cárdenas, Beckers, & Vanelslander, 2017; Heshmati, Verstichel, Esprit, & Vanden Berghe, 2019). De vermindering van de externe kosten wordt bijvoorbeeld teweeggebracht doordat de ophaalpunten een rol spelen bij het verminderen van de CO₂-uitstoot. De verminderde uitstoot zal op zijn beurt

een daling van de emissiekosten veroorzaken. De reductie van de interne kosten kan vervolgens veroorzaakt worden doordat niet-succesvolle eerste leveringen vermeden worden. Als een consument niet thuis is wanneer zijn pakket geleverd wordt, moet de transporteur het pakket opnieuw leveren of terugsturen naar de webshop waardoor hij een extra kost op zich moet nemen (Weltevreden, 2008). Deze extra kost wordt vermeden door het gebruik van ophaalpunten. Aangezien de transportkosten een groot deel uitmaken van de logistieke kosten hebben bedrijven baat bij het reduceren van de transportkosten door middel van een verbeterde routeplanning (Cárdenas et al., 2017). Met andere woorden, de geconsolideerde leveringen naar ophaalpunten vermijden niet-succesvolle eerste leveringen, optimaliseren de routes en verlagen de (operationele) kosten (Morganti et al., 2014).

Ten slotte ondervindt de maatschappij voordelen uit het gebruik van de alternatieve levermethode. Door de optimalisatie worden namelijk onnodige (lange) routes met een lage benutting van de laadcapaciteit vermeden. Dat zal op zijn beurt weer leiden tot een daling van de druk op de weginfrastructuur en een verbetering van de verkeersstroom voor goederen- en personen-transport. De verbeterde routeplanning zal verder nog resulteren in een daling van de CO₂-uitstoot (Drexler, 2012).

Met andere woorden, de ophaalpunten als alternatieve levermethode combineert de vraag van de consument naar meer flexibiliteit met de optimalisatievereisten van de leveringen van de bezorgingsdiensten (Morganti et al., 2014).

1.1 Onderzoeksvragen

In dit onderzoek wordt nagegaan of het gebruik van ophaalpunten als alternatieve levermethode tot minder of meer transport zal leiden ten opzichte van de aan huis leveringen. De focus ligt op consumenten die online producten aankopen, ook wel Business-to-Consumer (B2C) e-commerce genoemd. Daarnaast wordt enkel rekening gehouden met de online aankoop van fysieke goederen. De online aankoop van diensten vereist namelijk geen fysieke levering. Verder worden er twee soorten van ophaalpunten besproken: afleverpunten in winkels en lockerautomaten op openbare plaatsen.

1.1.1 Centrale onderzoeksvraag

Om meer inzicht te krijgen in het mobiliteitseffect van ophaalpunten als alternatieve levermethode wordt volgende centrale onderzoeksvraag beantwoord:

'Wat is het effect van ophaalpunten als alternatieve levermethode voor online bestellingen op het transport?'

Om een antwoord te formuleren op deze onderzoeksvraag, wordt in deze masterproef de impact van het gebruik van ophaalpunten als efficiënte levermethode in diverse situaties op het transport geanalyseerd.

1.1.2 Deelvragen

De centrale onderzoeksvraag wordt beantwoord met behulp van de volgende drie deelvragen.

Allereerst wordt bestudeerd welk bestaand onderzoek reeds werd verricht naar de mobiliteitsgevolgen van de verschillende levermethodes. Op deze manier wordt een globaal beeld gevormd waardoor vervolgens verder gebouwd kan worden op het huidige onderzoek.

Deelvraag 1: *'Wat zijn de gevolgen van verschillende levermethodes bij online bestellingen volgens bestaande onderzoeken?'*

Deze deelvraag wordt beantwoord door de bestaande literatuur te onderzoeken. In de eerste sectie wordt het begrip 'e-commerce' gedefinieerd. In de tweede sectie wordt een beeld gevormd van e-commerce in België. Ten slotte worden in de derde sectie de bevindingen van de huidige onderzoeken naar de alternatieve levermethodes besproken.

In de bestaande literatuur is er geen consensus over de mobiliteitsgevolgen van de aan huis leveringen. Er is dus verder onderzoek nodig om na te gaan welk effect deze levermethode op het transport heeft. Dit wordt onderzocht door middel van de tweede deelvraag.

Deelvraag 2: *'Welk effect heeft het aan huis leveren van online aankopen op het transport?'*

Deze deelvraag wordt beantwoord door de het routeplan van de aan huisleveringsmethode te optimaliseren op basis van de afstand. De resultaten van deze optimalisatie worden gebruikt als benchmark waartegen de resultaten van deelvraag 3 kunnen worden vergeleken.

In de probleemstelling werd aangehaald dat er vanuit economisch en maatschappelijk belang nood is aan een alternatieve duurzame levermethode. Om na te gaan of ophaalpunten een efficiënt alternatief zijn voor de aan huis leveringen wordt de derde deelvraag beantwoord:

Deelvraag 3: *'Welk effect heeft het gebruik van ophaalpunten, waaronder de afleverpunten aan winkels en de lockerautomaten op openbare plaatsen, op het transport?'*

Deze deelvraag wordt beantwoord door het routeplan van de levering door middel van de ophaalpunten te optimaliseren.

Op basis van de resultaten uit deelvraag 1, 2 en 3 wordt er een antwoord gegeven op de centrale onderzoeksvraag. De simulaties van de thuisbezorging en de ophaalpunten worden met elkaar vergeleken. Op die manier kan worden vastgesteld of de levering door middel van ophaalpunten een efficiënt alternatief is voor de leveringen aan huis.

Deze studie beoogt op drie manieren bij te dragen aan het huidige onderzoek naar het effect van e-commerce op het transport. Allereerst wordt de impact van alternatieve levermethodes, waaronder de afleverpunten in winkels en de automatische lockerautomaten, op het transport onderzocht. Meerdere onderzoeken bestudeerden reeds de impact van de thuislevering op de mobiliteit. Onderzoeken naar alternatieve levermethodes zijn eerder beperkt in aantal (Weltevreden, 2008). Ten tweede is dit een kwantitatief onderzoek. De huidige onderzoeken naar de impact van de alternatieven levermethodes op het transport zijn voornamelijk descriptief (Weltevreden, 2008). Ten derde wordt de impact op zowel het personenvervoer als op het goederentransport onderzocht. Er zijn weinig studies die de impact op beide soorten van transport opnemen waardoor het uiteindelijke netto mobiliteitseffect nog onduidelijk is (Rotem-Mindali & Weltevreden, 2013).

1.2 Onderzoeksmethode

De centrale onderzoeksvraag en de deelvragen worden beantwoord door middel van een literatuurstudie en een empirische studie. De bronnen die doorheen dit onderzoek gebruikt worden, worden gezocht met behulp van de wetenschappelijke databank 'Ebscohost' en de online bibliotheek van de Universiteit Hasselt. In deze databanken worden relevante bronnen gezocht door de volgende zoektermen of door een combinatie van deze zoektermen: 'e-commerce', 'internet shopping', 'mobility effects', 'logistics', 'home delivery' en 'alternative delivery policies'. Er wordt ook aan de hand van de zoekterm 'Vehicle Routing Problem' gezocht naar bronnen die betrekking hebben op het routeplanningsprobleem dat in de empirische studie wordt toegepast. De betrouwbaarheid en relevantie van de bronnen worden nagegaan door de impactfactor en het aantal citaties.

De literatuurstudie bestaat uit vier grote secties. In de eerste sectie wordt er dieper ingegaan op het concept 'e-commerce'. Er worden een aantal begrippen gedefinieerd die aansluiten bij e-commerce. Verder wordt er in de eerste sectie nog een onderscheid gemaakt tussen de verschillende vormen van e-commerce. De tweede sectie beschrijft, aan de hand van cijfergegevens, het gebruik van e-commerce in België. Zo wordt onder andere de groei en de toekomst van e-commerce in België, de Belgische e-shopper en Belgische e-bedrijven beschreven. In de derde sectie worden de levermethodes voor de online bestellingen grondig besproken. Deze sectie zal opgedeeld worden in drie categorieën, namelijk de aan huis leveringen, de ophaalpunten en de innovatieve levermethodes. Voor de thuisbezorging en de ophaalpunten worden de voornaamste bevindingen (uit de huidige literatuur) van de impact van de levermethode(s) op de mobiliteit besproken. Voor de categorie van de ophaalpunten wordt ook het verschil tussen de lockers en de afleverpunten uitgelegd en wordt een overzicht van de aanwezige ophaalpunten in België weergegeven. Verder worden de voor- en nadelen van het gebruik van de betreffende levermethode beschreven. In de vierde sectie wordt dieper ingegaan op een aantal varianten van het Vehicle Routing Problem.

In het tweede deel van deze masterproef wordt een empirische studie opgezet. In deze studie wordt het Vehicle Routing Problem toegepast op een artificiële dataset. Door middel van de VRP Spreadsheet Solver worden de optimale routes voor de leveringen van pakketten aan consumenten bepaald. Om na te gaan wat het effect is van de ophaalpunten als alternatieve levermethode worden verschillende scenario's getest waarbij het percentage van de consumenten dat gebruikt maakt van een ophaalpunt varieert. Vervolgens wordt ook de impact van een aantal parameters op het effect van de ophaalpunten getest. De parameters hebben betrekking op de geografische spreiding van de consumenten, het concept *trip chaining* en het vooropstellen van tijdsvensters.

Literatuurstudie

2 E-commerce

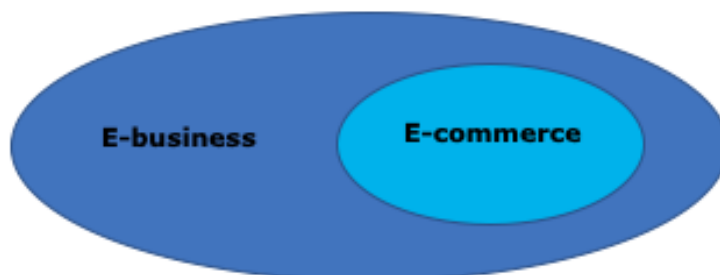
2.1 Definitie e-commerce

Electronic commerce, beter gekend onder de naam e-commerce, wordt in de literatuur op verschillende manieren gedefinieerd. Ondanks het feit dat er dus niet één gangbare definitie is, keren in de verschillende definities telkens drie elementen terug. Op de eerste plaats heeft e-commerce betrekking op alle vormen van commerciële transacties. Met andere woorden, het slaat terug op de aankoop en verkoop van producten en diensten. Op de tweede plaats vindt die transactie plaats tussen stakeholders, waaronder organisaties en individuen uit de maatschappij. Ten slotte wordt de transactie tussen de stakeholders uitgevoerd door de toepassing van ICT. Daarbij is het internet het meest relevante en gebruikte medium (TNO, 2002; Visser et al., 2014).

In deze masterproef ligt de nadruk op de online transacties tussen consumenten en bedrijven. Op basis van voorgaande elementen wordt e-commerce in deze masterproef als volgt gedefinieerd:

'E-commerce verwijst naar alle vormen van commerciële transacties tussen bedrijven en consumenten die tot stand komen door de toepassing van ICT.'

In de literatuur wordt vaak geen onderscheid gemaakt tussen de begrippen e-commerce en e-business. E-commerce is een onderdeel van het concept e-business (Figuur 1) en heeft voornamelijk betrekking op het online aankopen en verkopen. Het concept e-business is daarentegen een ruimer begrip dat alle aspecten van de organisatie omvat. E-business wordt gedefinieerd als het gebruiken van elektronische informatie om de prestatie te verbeteren, waarde te creëren en nieuwe relaties te ontwikkelen tussen bedrijven en consumenten (TNO, 2002).



Figuur 1: Vergelijking e-business en e-commerce (TNO, 2002)

2.2 Soorten e-commerce

Een van de elementen uit de definitie van e-commerce is de betrokkenheid van stakeholders. Op basis van de betrokken stakeholders wordt een onderscheid gemaakt tussen verschillende vormen van e-commerce. In deze sectie worden de belangrijkste vormen besproken waarbij twee soorten stakeholders worden geïdentificeerd, namelijk bedrijven en consumenten.

2.2.1 Business-to-Consumer e-commerce

Business-to-Consumer (B2C) e-commerce verwijst naar de commerciële transacties tussen bedrijven en consumenten (TNO, 2002). De consument kan bijvoorbeeld een product of dienst online bestellen bij een kleinhandelaar (bv. kledingwinkel Zara) of bij een fabrikant (bv. computerfabrikant Dell). In de huidige literatuur wordt naast de term B2C e-commerce ook de termen *internet shopping*, *e-shopping* en *internet retailing* gebruikt om te verwijzen naar de online aankoop van producten en diensten door de consument (Weltevreden & Rotem-Mindali, 2009; Rotem-Mindali & Weltevreden, 2013; Visser et al., 2014).

2.2.2 Offline-to-Online e-commerce

Een tweede vorm van e-commerce waarbij de transacties plaatsvinden tussen bedrijven en consumenten is Offline-to-Online (O2O) e-commerce. In dat geval openen bedrijven fysieke winkels waar consumenten informatie kunnen verkrijgen en het product kunnen passen of testen zonder het effectief aan te kopen. De aankoop van het product wordt vervolgens door middel van het internet verricht (Visser et al., 2014).

2.2.3 Customer-to-Customer e-commerce

Een derde vorm is Customer-to-Customer (C2C) e-commerce waarbij consumenten het internet gebruiken om producten te verkopen aan of kopen van andere consumenten (Weltevreden & Rotem-Mindali, 2009; Rotem-Mindali & Weltevreden, 2013; Visser et al., 2014). Voornamelijk tweedehandsproducten en zelfgemaakte producten worden online gekocht en verkocht bij deze vorm van e-commerce (Visser et al., 2014). De gemakkelijke registratie en de vrije toetreding en uittreding maken deze vorm van e-commerce zeer populair (Weltevreden & Rotem-Mindali, 2009; Rotem-Mindali & Weltevreden, 2013). Populaire voorbeelden zijn de websites van 2dehands en eBay of de Vinted app.

2.2.4 Business-to-Business e-commerce

Een vierde vorm is Business-to-Business (B2B) e-commerce waarbij de transacties plaatsvinden tussen bedrijven. De kleinhandelaar kan bijvoorbeeld een product online aankopen bij de groothandelaar die op zijn beurt weer een product online aankoopt bij de producent (TNO, 2002).

Wanneer in het vervolg van deze masterproef de term 'e-commerce' wordt gebruikt, dan wordt hiermee Business-to-Consumer (B2C) e-commerce bedoeld.

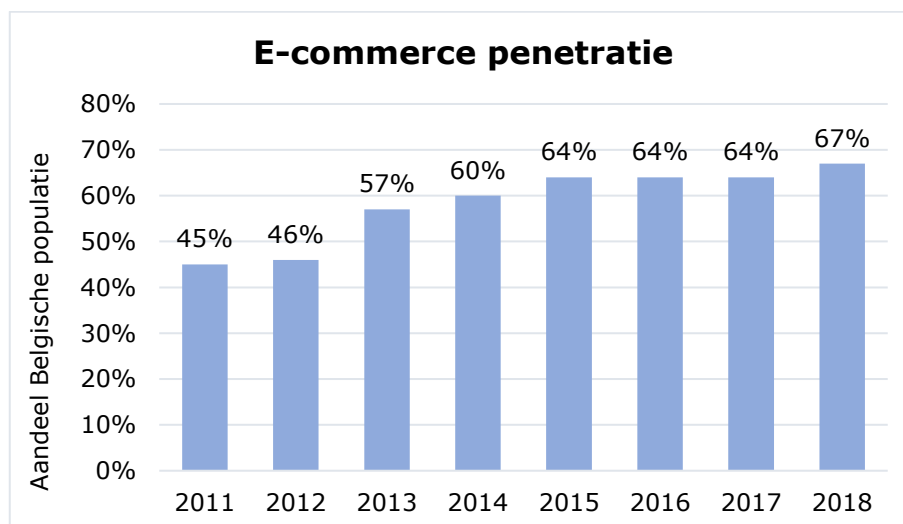
3 E-commerce in België: feiten en cijfers

In deze sectie wordt aan de hand van statistische gegevens het online shoppen in België beschreven. Zo wordt nagegaan hoe de Belgische e-commerce evolueert en hoe e-commerce zich in de toekomst verder zal ontwikkelen. Daarnaast worden de e-shoppers en de e-bedrijven besproken. De feiten zijn gebaseerd op cijfergegevens afkomstig uit de BeCommerce Market Monitor (BeCommerce, 2019, 2020), de E-commerce Barometer 2018 (House of Marketing, 2019) en een onderzoek naar e-commerce dat door de handelsfederatie Comeos (2018) werd uitgevoerd.

3.1 Groei van e-commerce in België

De Belgische e-commerce blijft aan populariteit toenemen. Uit de E-commerce Barometer 2018 blijkt namelijk dat het aantal online transacties in 2018 is toegenomen met 16% ten opzichte van 2017 (House of Marketing, 2019). Ook het totaalbedrag dat aan online aankopen werd gespendeerd nam in 2018 toe. Zo gaven de Belgische e-shoppers in totaal 10,67 miljard euro uit op het internet. Dat is een half miljard meer dan het bedrag dat in 2017 werd gespendeerd aan e-commerce.

Verder toont zowel het onderzoek van de organisatie Comeos (2018) als dat van BeCommerce (2019) aan dat het aantal consumenten die online aankopen, ook wel e-commerce penetratie genoemd, toeneemt. Liefst 67% van de Belgische populatie heeft in 2018 minstens één keer een online aankoop verricht. Deze stijging tegenover 2017 is de eerste stijging die werd waargenomen in 4 jaar tijd (Figuur 2) (Comeos, 2018). De Belgische e-commerce doet het op basis van het aantal consumenten dat online aankoopt beter dan het EU-28 gemiddelde dat 57% bedraagt. Met dat percentage doet België het echter slechter dan het Verenigd Koninkrijk dat met 82% op de eerste plaats staat. De top vijf wordt vervolledigd door Denemarken, Nederland, Zweden en Duitsland waar ongeveer 80% van de populatie een online aankoop heeft verricht in 2018 (BeCommerce, 2018).



Figuur 2: Percentage van de Belgische populatie die een online aankoop heeft verricht (Comeos, 2018)

Uit bovenstaande cijfers kan worden vastgesteld dat steeds meer consumenten gebruik maken van het internet om producten en diensten aan te kopen. E-commerce blijft gestaag groeien, maar het aandeel van de online bestedingen tegenover de totale retailbestedingen (totaal van online en offline bestedingen) blijft relatief klein. Slechts één op vijf (18%) van de totale bestedingen gebeurt online (BeCommerce, 2019).

3.2 Toekomst van Belgische e-commerce

De gestage groei die in 2018 werd ondervonden zal zich hoogstwaarschijnlijk in de toekomst verderzetten. Van de consumenten die reeds een online aankoop hebben verricht in 2018 geeft ongeveer negen op tien (87%) aan dat ze bereid zijn om in de toekomst producten en diensten aan te kopen via het internet. Van de consumenten die nog nooit online hebben aangekocht geeft 36% aan dat ze de intentie hebben om dit in de toekomst wel te doen. Daarbij stijgt de interesse in e-commerce van deze consumenten. In 2017 gaf namelijk slechts 23% aan dat ze de intentie hadden om in de toekomst online te shoppen (Comeos, 2018).

Daarnaast toont onderzoek aan dat één op twee consumenten de intentie heeft om in de toekomst gebruik te maken van mobile commerce (M-commerce) (51% in 2018 tegenover 41% in 2017) (Comeos, 2018). Deze term verwijst naar het gebruik van een mobiel apparaat, waaronder de smartphone of tablet, om producten en diensten online aan te kopen (Visser et al., 2014). De toename van het gebruik van mobiele apparaten doet mogelijk ook het aantal online aankopen toenemen (Morganti et al., 2014; Visser et al., 2014; Comeos, 2018).

De verwachting dat e-commerce in België in 2019 consistent zal blijven groeien wordt bevestigd door de meest recente cijfers van de BeCommerce Market Monitor (2020). In 2019 vonden namelijk 112,9 miljoen online transacties plaats. Naast de toename van het aantal online aankopen nam ook het uitgegeven bedrag toe. In 2019 werd 11,46 miljard euro uitgegeven aan online aankopen. Dat is een stijging van 8% ten opzichte 2018. Ook kochten negen op tien Belgen (ouder dan 15 jaar) in 2019 online aan.

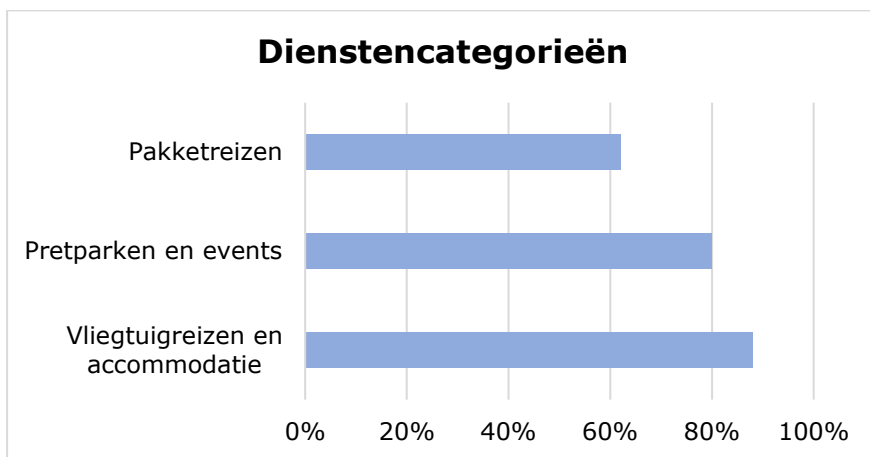
Bovendien heeft de coronacrisis een impact op de toekomst van de Belgische e-commerce. Omwille van de verplichte sluiting van niet-essentiële winkels zal de vraag naar e-commerce in de toekomst waarschijnlijk nog meer toenemen. Uit voorlopige cijfers van het marktonderzoeksinstituut GfK (2020) blijkt namelijk dat de coronacrisis in de eerste week na de sluiting van de niet-essentiële winkels (periode van 16 maart tot 22 maart) resulteerde in een verschuiving van fysiek aankopen naar online aankopen. Dit leidde bijgevolg tot een aanzienlijke groei in de omzet van de online verkopen. Zo daalde in de week van 16 maart tot 22 maart de omzet van de fysieke elektronikawinkels met 56% in vergelijking met dezelfde periode in 2019. De omzet van de online verkopen steeg daarentegen met 166%. De impact verschilt echter naargelang de sector die wordt bestudeerd. In tegenstelling tot de elektronicasector daalde de omzet van de modewinkels in de fysieke winkels met 91% en online met 5%. De voorlopige cijfergegevens uit het onderzoek van

onderzoeksinstituut GFK (2020) hebben slechts betrekking tot de week van 16 maart tot 22 maart 2020. De impact van het coronavirus op e-commerce op lange termijn is nog niet gekend.

3.3 Belgische e-shopper

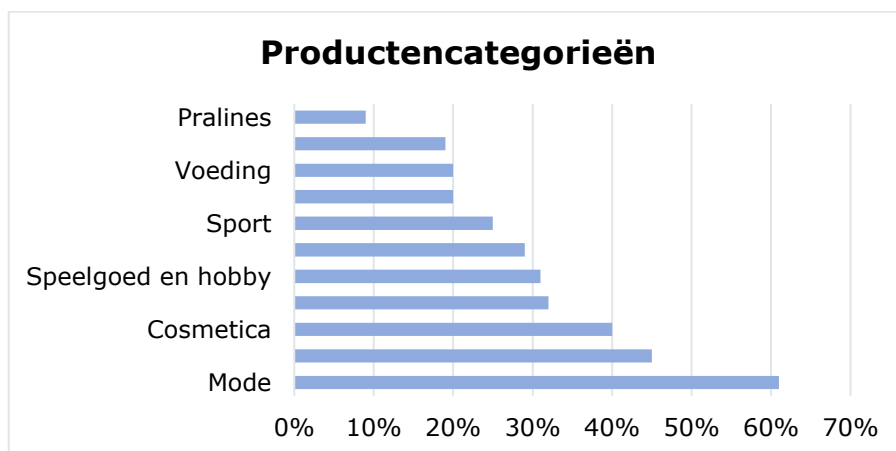
3.3.1 Voorkeuren van de e-shopper

Belgische e-shoppers kopen zowel producten als diensten online aan. Uit onderzoek blijkt echter dat er voornamelijk diensten online worden aangekocht (Visser et al., 2014; Weltevreden & Rotem-Mindali, 2009), zoals vliegtuigtickets en accommodatie (niet in een pakket). Verder kopen Belgische e-shoppers vooral tickets voor pretparken en events online, gevolgd door pakketreizen (Figuur 3) (BeCommerce, 2019).



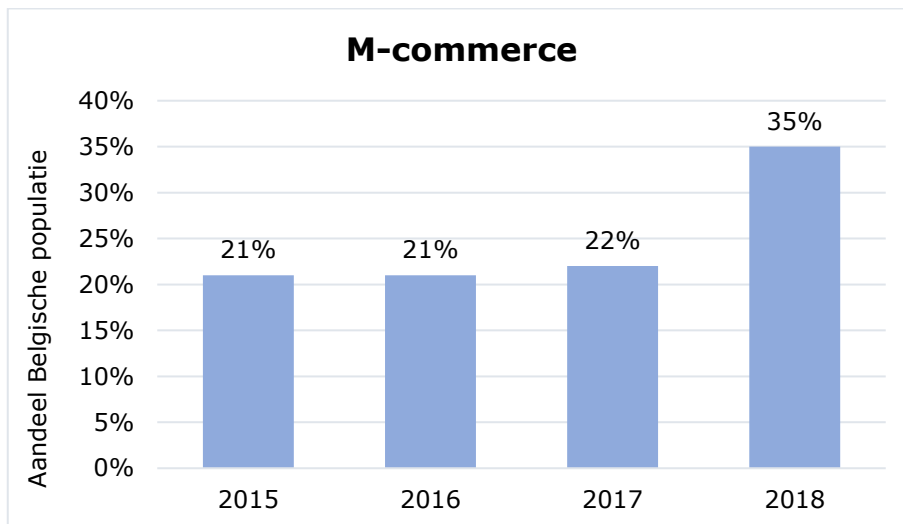
Figuur 3: Percentage van de top 3 van de dienstencategorieën die online worden aangekocht (BeCommerce, 2019)

De producten die het meest online worden gekocht behoren tot de categorieën elektronica, cosmetica en mode. Deze categorieën worden gevolgd door de volgende categorieën: boeken, speelgoed en hobby, wonen en sport (Figuur 4) (Comeos, 2018).



Figuur 4: Percentage van een bepaalde productcategorie die online worden aangekocht (Comeos, 2018)

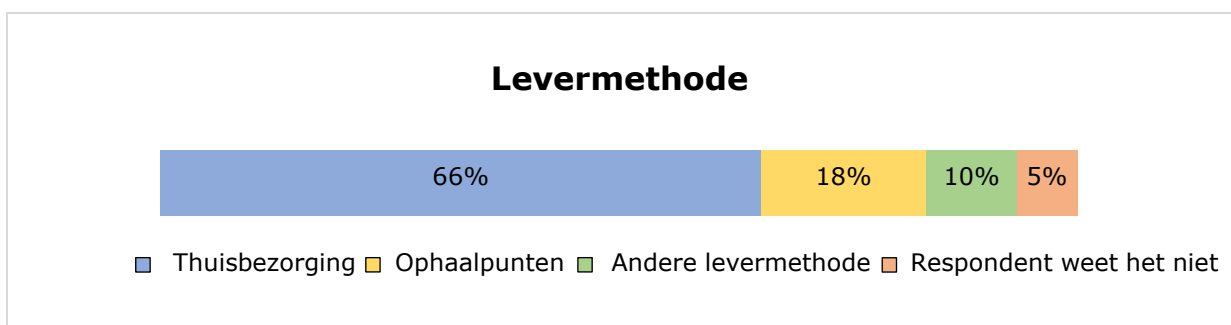
Ondanks de opkomende populariteit van m-commerce zijn de laptop en de desktopcomputer de populairste apparaten om een product of dienst online aan te kopen. Echter blijkt dat consumenten steeds meer gebruik maken van hun smartphone bij het online shoppen. In 2018 maakte 35% van de Belgische consumenten voor minstens één online aankoop gebruik van zijn smartphone. Dat is een stijging van 13%-punt ten opzichte van 2017 (22%) (Figuur 5) (Comeos, 2018).



Figuur 5: Percentage van de Belgische populatie die een online aankoop hebben verricht door middel van een smartphone of tablet (Comeos, 2018)

Om vervolgens de online aankopen te betalen, geven de consumenten de voorkeur aan de bankkaart als betalingsmiddel. Verder behoren ook de kredietkaart en PayPal tot de populairste betalingsmethodes (Comeos, 2018).

De pakketten worden in de grote meerderheid van de gevallen aan huis geleverd (66%). Het gebruik van ophaalpunten wordt tegenwoordig nog niet frequent toegepast als alternatieve levermethode. In 2018 werd 17% van de bestellingen geleverd in een afleverpunt en slechts 1% in lockers (Figuur 6). De levering vindt doorgaans plaats tijdens de week en de pakketten worden gewoonlijk tussen 9 uur en 17 uur geleverd (Comeos, 2018).



Figuur 6: Percentage van de leveringen dat geleverd werd door middel van een bepaalde levermethode (Comeos, 2018)

3.3.2 Stimulerende en belemmerende factoren

Belgische e-shoppers kopen voornamelijk online aan omwille van de eenvoudigheid of het gemak waarbij de online aankopen plaatsvinden. De tijd die wordt bespaard, de mogelijkheid om 24 uur per dag te shoppen (zonder het huis te moeten verlaten) en het feit dat ze een groter assortiment ter beschikking hebben moedigt consumenten dan ook aan om online te kopen. Daarnaast is ook de mogelijkheid tot levering aan huis een doorslaggevende factor om gebruik te maken van e-commerce. Naast de factoren die bijdragen tot de eenvoudigheid van het shoppen, waarderen consumenten de mogelijkheid om een voordeligere prijs te bekomen. Consumenten hebben online toegang tot veel informatie en kunnen hierdoor makkelijker de prijzen van de verschillende webshops vergelijken (Moroz & Polkowski, 2016; Comeos, 2018; Vakulenko, Hellström, & Hjort, 2018).

Naast de factoren die de aankoop stimuleren zijn er ook factoren die de keuze voor een website beïnvloeden. Zo zullen consumenten de voorkeur geven aan websites die voordelige prijzen aanbieden en die een snelle en betrouwbare levering garanderen. Verder zijn de betrouwbaarheid van de website en de beschikbaarheid van producten belangrijke factoren die een invloed hebben op de keuze van de website. Daarnaast zijn tevreden consumenten ook eerder geneigd om dezelfde webshop te gebruiken (Comeos, 2018).

Ondanks de vele factoren die e-commerce stimuleert, zijn er ook factoren die voor de consumenten als obstakels opduiken en het online aankopen belemmert. Zo willen consumenten het product vaak eerst zien of testen vooraleer ze beslissen om het product aan te kopen. Ze vrezen namelijk dat het product niet aan hun vereisten voldoet. Verder hebben sommige consumenten niet de intentie om online aan te kopen omdat ze reeds toegang hebben tot de producten en diensten in een fysieke winkel. Ook willen consumenten hulp vragen aan een verkoper/verkoopster wanneer ze meer informatie over het product nodig hebben. Opmerkelijk is dat de bedenkingen van de consument bij de veiligheid van het online shoppen over de jaren heen sterk gedaald zijn. In 2011 behoorde dit zelfs tot de voornaamste obstakels (36%), terwijl dit in 2018 niet langer een probleem vormt voor de meeste consumenten (16%) (Comeos, 2018).

3.4 Belgische e-bedrijven

Naast de toename van het aantal consumenten die online aankopen verrichten neemt ook het aantal e-bedrijven toe. Kortom, steeds meer bedrijven openen een webshop om producten en diensten te verkopen (figuur 7). In 2018 waren in België 24.254 webshops actief, wat een stijging is van 18% tegenover 2017 (House of Marketing, 2018).

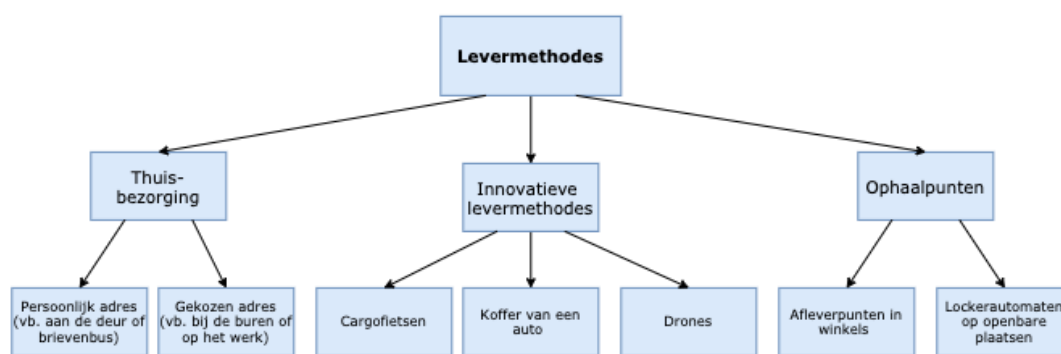


Figuur 7: Evolutie van het aantal Belgische webshops (House of Marketing, 2018)

E-bedrijven komen in verschillende vormen voor. De meest voorkomende vormen zijn de *virtual retailers* en de *multi channel retailers*. De virtuele retailers, ook wel *internet pure players* of *online only distributors* genoemd, bieden enkel online producten en diensten aan en beschikken niet over een fysieke winkel. De webshop van Bol.com is hier een populair voorbeeld van. De *multi channel retailers*, ook wel *click-and-mortar* genoemd, verkopen zowel via het internet als via een fysieke winkel. Daarnaast zijn er nog de online marktplaatsen en veilingen die voornamelijk in de C2C e-commerce markt voorkomen. Tenslotte behoren de postorderbedrijven (het bestellen van producten door een formulier met de post op te sturen, e-mail of fax) en de fabrikanten (bv. Dell) nog tot de e-bedrijven (Weltevreden & Rotem-Mindali, 2009; Morganti et al., 2014).

4 Levermethodes van e-commerce bestellingen

Uit het voorgaande hoofdstuk is duidelijk geworden dat het internet een invloed heeft op de koopgewoonten van de consument. Het aankopen van producten en diensten via het internet is nog steeds populair bij consumenten en de gestage groei van e-commerce resulteert in een toenemende vraag naar leveringsdiensten (Morganti et al., 2014; Visser et al., 2014). Bij e-commerce van fysieke producten is namelijk een levering vereist om het product ter beschikking van de consument te kunnen stellen (Visser et al., 2014). Die levering kan op verschillende manieren plaatsvinden (Figuur 8). In dit hoofdstuk worden de thuisbezorging en de ophaalpunten als mogelijke levermethodes besproken. Daarnaast worden de levering in de koffer van een auto, de cargofietsen en de drones als innovatieve levermethodes beschreven.



Figuur 8: Verschillende levermethodes van e-commerce bestellingen (aangepast van Moroz en Polkowski, 2016)

4.1 Thuisbezorgingen

De meest voorkomende methode om producten ter beschikking van de consument te stellen is de levering aan huis (Comeos, 2018). Deze levermethode omvat de levering aan het persoonlijk adres van de consument (bv. levering aan de deur of in de brievenbus) of aan een door de consument gekozen adres (bv. bij de burens of op het werk) (Weltevreden & Rotem-Mindali, 2009). De toenemende populariteit van e-commerce en de toenemende vraag naar leveringen aan huis brengen een mobiliteitseffect teweeg op het personenvervoer en het goederenvervoer. In de bestaande literatuur zijn er verschillende onderzoeken terug te vinden die het effect van e-commerce en de levermethodes op de mobiliteit bestuderen. In de meeste onderzoeken wordt echter enkel het effect op het personenvervoer of goederenvervoer bestudeerd en dus niet het effect op beide (Weltevreden & Rotem-Mindali, 2009; Rotem-Mindali & Weltevreden, 2013).

4.1.1 Mobiliteitseffect op personenvervoer

Uit verschillende onderzoeken naar het effect van de thuisbezorgingen op het personenvervoer komen diverse conclusies naar voren omtrent de mobiliteitsgevolgen. In het algemeen kan een onderscheid gemaakt worden tussen vier mogelijke effecten: (1) substitutie, (2) neutraliteit, (3)

complementariteit en (4) modificatie (Mokhtarian, 2004; Visser & Lanzendorf, 2003; Weltevreden, 2007; Rotem-Mindali & Weltevreden, 2013; Shi et al., 2019). Deze effecten worden door middel van Figuur 9 tot en met Figuur 13 gevisualiseerd. In de figuren verwijzen de symbolen en pijlen in het donkerblauw en het lichtblauw naar respectievelijk de aankoop in de fysieke winkel en de aankoop door e-commerce. Het symbool van de auto duidt een beweging van het personenvervoer aan en het symbool van de vrachtwagen een beweging van het goederenvervoer. De symbolen van het huis en de winkel staan representatief voor de locaties en het symbool van de persoon met de computer stelt het online zoeken voor. Figuur 9 geeft een legende weer die de gebruikte symbolen en kleuren verduidelijkt.



Figuur 9: Legende Figuur 10 tot Figuur 13 (eigen werk)

Op de eerste plaats verwachten sommige onderzoekers dat internet shoppen een substituuat is voor fysiek shoppen (bv. Bhat et al., 2003; Corpuz & Peachman, 2003; Weltevreden & Rotem-Mindali, 2009; Weltevreden, 2007; Shi et al., 2019). Met andere woorden, de verplaatsing naar de winkel wordt vervangen door een levering aan huis (Figuur 10) (Weltevreden, 2007; Rotem-Mindali & Weltevreden, 2013; Visser et al., 2014). De onderzoekers verwachten dat de substitutie, die resulteert uit het gebruik van e-commerce, het aantal shoppingtrips en de afgelegde afstand van het personenvervoer zal verminderen (Rotem-Mindali & Weltevreden, 2013; Visser et al., 2014).



Figuur 10: Substitutie-effect van de thuisbezorging op het personenvervoer (eigen werk)

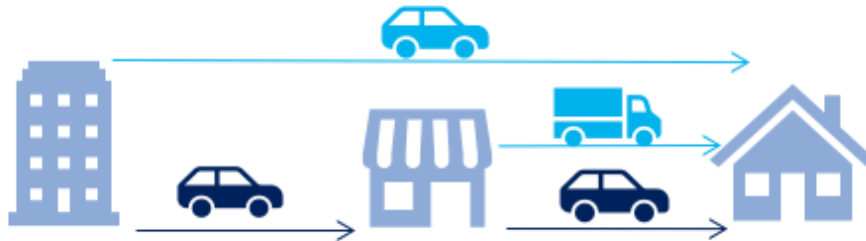
Het substitutie-effect wordt onder andere in het onderzoek van Bath et al. (2003) aangetoond. De onderzoekers bestuderen de impact van ICT (waaronder het gebruik van mobiele telefoons en computers) op het transport. Zij concluderen dat 78% van de computergebruikers minder shoppingtrips verrichten dan de niet-computergebruikers (Bath et al., 2003). Verder duidt ook het onderzoek van Corpuz en Peachman (2003) op het substitutie-effect. In deze studie wordt de impact

van het internetgebruik op het reisgedrag bestudeerd. Het reisgedrag van internetgebruikers wordt vergeleken met dat van niet-internetgebruikers. Uit het onderzoek blijkt dat ongeveer één op drie (35%) van de online transacties een trip naar een fysieke winkel vervangt. Daarnaast onderzoekt Weltevreden (2007) de impact van e-shopping op het winkelen in het stadscentrum in Nederland voor 25 categorieën van producten. De respondenten worden gegroepeerd volgens de frequentie waarmee ze online aankopen verrichten. Op deze manier gaat de onderzoeker na of het effect toeneemt naarmate de onlineactiviteiten toenemen. Op basis van de resultaten stelt hij vast dat hoe frequenter de respondenten online kopen, hoe minder aankopen ze maken in een stadscentrum. Zo geeft 22% van alle e-shoppers (en 33% van de frequente e-shoppers) aan dat ze door e-shopping minder trips naar een stadscentrum verrichten. Weltevreden (2007) stelt dat e-commerce op lange termijn zal optreden als een substituut voor aankopen in een fysieke winkel. Ook de empirische studie van Weltevreden & Rotem-Mindali (2009) toont het substitutie-effect aan. Het onderzoek bestudeert de potentiële impact van e-commerce op zowel het personenvervoer als op het goederenvervoer in Nederland. Uit het onderzoek blijkt dat e-commerce resulteert in een reductie van zowel het aantal shoppingtrips als de afgelegde afstand in het personenvervoer. Het aandeel van deze reducties in het totale aantal shoppingtrips en de totale afgelegde afstand is eerder beperkt. Deze dalen slechts met respectievelijk 0,30% en 0,39%. Onderzoekers vinden dit marginaal effect echter niet verrassend omdat het aandeel van de online uitgaven in de totale uitgaven in Nederland in 2006 laag was (3,4%) (Weltevreden & Rotem-Mindali, 2009). Tenslotte wordt door Shi et al. (2019) nagegaan of e-shopping, voor vier categorieën van producten (kledij en schoenen, elektronica, eten en drinken en cosmetica), shoppingtrips vervangen in China. Aangezien 44% van de respondenten aangeeft dat ze minder shoppingtrips maken door e-shopping, toont ook dit onderzoek het substitutie-effect aan.

Uit de resultaten van bovenstaande onderzoeken is duidelijk dat de omvang van het aantal consumenten die aangeven dat ze omwille van e-commerce minder shoppingtrips maken aanzienlijk verschilt tussen de verschillende onderzoeken: 22% (Weltevreden, 2007), 35% (Corpuz & Peachman), 44% (Shi et al., 2019), 73% (Weltevreden & Rotem-Mindali, 2009) en 78% (Bath et al., 2003) (Weltevreden & Rotem-Mindali, 2009; Rotem-Mindali & Weltevreden, 2013). De verschillen in de omvang van het substitutie-effect kunnen toegewezen worden aan de variaties in de productcategorieën, de methodologie, de dataverzameling en de tijd en geografische context van de onderzoeken (Visser & Lanzendorf, 2003; Weltevreden & Rotem-Mindali, 2009; Rotem-Mindali & Weltevreden, 2013).

Op de tweede plaats heeft e-commerce volgens sommige onderzoekers een neutrale of beperkte impact op het personenvervoer (bv. Sim & Koi, 2002; Visser & Lanzendorf, 2003; Mokhtarian, 2004; Weltevreden, 2009). Dit effect kan verklaard worden door het concept *trip chaining*. Shoppingtrips worden vaak gelinkt aan andere activiteiten (Golob & Regan, 2001; Visser & Lanzendorf, 2003; Mokhtarian, 2004; Weltevreden & Rotem-Mindali, 2009; Rotem-Mindali & Weltevreden, 2013). Zo heeft bijvoorbeeld het weglaten van een stop bij een winkel die op de terugweg van het werk naar huis ligt, geen of een te verwaarlozen effect op de afgelegde afstand (Figuur 11) (Rotem-Mindali & Weltevreden, 2013). In dat geval resulteert de thuisbezorging niet in een reductie van het personenvervoer. Daarnaast kopen consumenten vaak meerdere producten

gedurende één shoppingtrip (Mokhtarian, 2004; Rotem-Mindali & Weltevreden, 2013; Visser et al., 2014). Wanneer de consument bijvoorbeeld één product online aankoopt in plaats van in de winkel, dan heeft dit geen effect op het aantal shoppingtrips of op de afgelegde afstand (Rotem-Mindali & Weltevreden, 2013). Ten slotte ervaren sommige consumenten het aankopen van goederen in een fysieke winkel als een vrijetijdsbesteding. Deze ervaring is moeilijk te vervangen door het online aankopen (Golob & Regan, 2001; Mokhtarian, 2004; Rotem-Mindali & Weltevreden, 2013).



Figuur 11: Neutrale impact van e-commerce op het personenvervoer (eigen werk)

De neutrale impact van e-commerce en de thuisbezorging op het personenvervoer wordt onder meer aangetoond door de empirische studie van Sim en Koi (2002). Zij bestuderen de impact van e-commerce op het traditionele shoppingpatroon in Singapore. Slechts 12% van de respondenten geeft aan dat ze door e-commerce minder vaak in een fysieke winkel aankopen. Met andere woorden, de studie concludeert dat e-commerce geen significante impact heeft op het traditionele shoppingpatroon van de inwoners van Singapore (Sim & Koi, 2002).

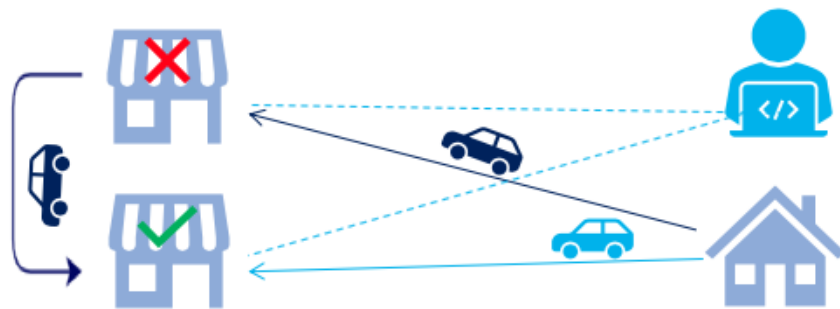
Op de derde plaats merken sommige onderzoekers een complementariteitseffect op. In dat geval heeft e-commerce een invloed op het personenvervoer doordat het shoppingtrips naar het complementaire kanaal, de fysieke winkel, genereert (Weltevreden, 2007). Zo worden de shoppingtrips bijvoorbeeld gegenereerd doordat consumenten door e-commerce bewust worden van het bestaan van een winkel (Figuur 12). Naast de toename van het aantal shoppingtrips zal ook de afstand van de trip toenemen omdat de eerst nog onbekende winkels zich vaak niet in de buurt van de consumenten bevinden (Mokhtarian 2004; Rotem-Mindali & Weltevreden, 2013).



Figuur 12: Complementariteitseffect van e-commerce op het personenvervoer (eigen werk)

Het complementariteitseffect wordt onder andere empirisch aangetoond door het onderzoek van Farag et al. (2006). Zij bestuderen de relatie tussen online kopen en de aankoop van producten in een fysieke winkel. Uit de resultaten blijkt dat de frequentie van de shoppingtrips naar de fysieke winkel toeneemt indien consumenten frequent online aankopen. Met andere woorden, het online aankopen treedt op als een complement voor de aankoop in een fysieke winkel (Farag et al., 2006).

Tenslotte zijn er studies die een modificatie-effect aantonen. In dat geval wordt de shoppingtrip naar de fysieke winkel niet vervangen, maar wel gewijzigd door e-commerce. Zo kan de duurtijd van een shoppingtrip, de transportmodus en de shoppingsbestemming beïnvloed worden door e-commerce (Weltevreden, 2007). Een consument kan bijvoorbeeld gebruik maken van het internet om zo informatie te verkrijgen over de beschikbaarheid van een bepaald product in een fysieke winkel. Op deze manier vermijdt de consument een onnodige shoppingtrip naar een fysieke winkel waar het product niet aanwezig is (Figuur 13) (Rotem-Mindali & Weltevreden, 2013). Dit resulteert in een reductie van de afgelegde afstand. De wijziging kan ook betrekking hebben tot de duurtijd van een shoppingtrip. Aangezien consumenten beter geïnformeerd zijn, kunnen ze sneller een keuze maken en spenderen ze minder tijd in de fysieke winkel (Weltevreden, 2007; Shi et al., 2019).



Figuur 13: Modificatie-effect van e-commerce op het personentransport (eigen werk)

Het onderzoek van Farag et al. (2006) concludeert dat de frequentie van het online zoeken en het online kopen een negatief effect heeft op de duurtijd van een fysieke shoppingtrip (Weltevreden, 2007). De gemiddelde duurtijd van een niet-dagelijkse shoppingtrip daalt namelijk naarmate de consumenten frequenter online aankopen (Farag et al., 2006). Dit wijst op het modificatie-effect. E-commerce wijzigt namelijk de duurtijd van de fysieke shoppingtrip.

Zowel het complementariteitseffect als het modificatie-effect zijn het gevolg van het online zoeken en dus niet van het online aankopen zelf (Weltevreden, 2007, Weltevreden & Rotem-Mindali, 2009). In beide gevallen worden er geen producten online aangekocht en is geen levering bij de consument thuis vereist. Aangezien deze effecten dus niet het resultaat zijn van het gebruik van een bepaalde levermethode worden ze in deze masterproef ook niet verder besproken.

Tabel 1 geeft een overzicht van de onderzoeken naar het effect van e-commerce op het personentransport. Voor elk onderzoek wordt het niveau van trip chaining, de onderzochte productcategorieën, de definiëring van de begrippen e-shopper en e-commerce, de transportparameter, de dataverzameling en het gevonden effect weergegeven.

Tabel 1: Overzicht van onderzoeken met betrekking tot het effect van e-commerce op het transport

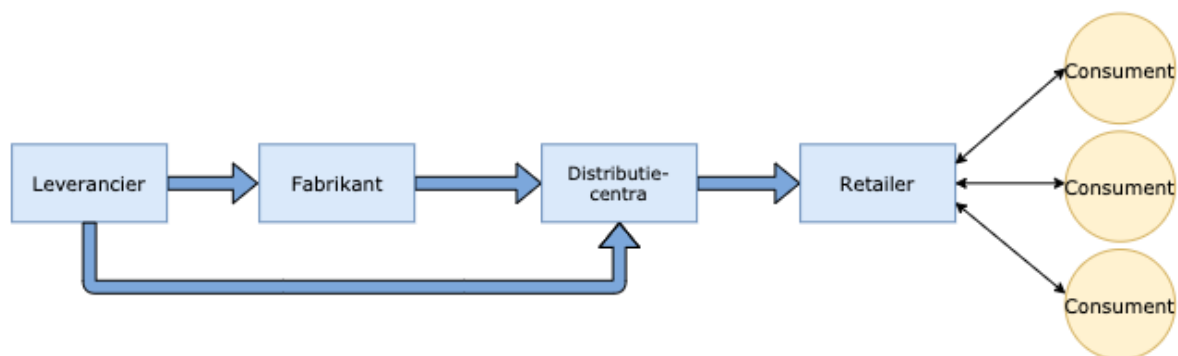
Referentie	Trip chaining niveau	Product-categorieën	Definiëring: e-shopper/e-commerce	Transport-parameter	Data-verzameling	Effect
Personentransport						
Bath et al. (2003)	51%	Niet-onderhoudsproducten	Onderscheid tussen <u>computergebruiker</u> en <u>telefoongebruiker</u>	Aantal trips	Huishoudens (361) Reisdagboek (gedurende 6 weken)	Substitutie
Corpuz en Peachman (2003)	45%	Niet gegeven	<u>Internetgebruiker</u> : minstens 1 keer het internet gebruiken in afgelopen maand	Frequentie trips	Huishoudens (Basisvragenlijst) (6785) Internetgebruikers (Supplementaire vragenlijst) (1487)	Substitutie
Weltevreden (2007)	Niet gegeven	25 retail categorieën	<u>E-shopper</u> (4 varianten): niet e-shopper, online zoekers, occasionele e-shopper en frequente e-shopper. <u>E-commerce</u> : het online zoeken en het online kopen.	Aantal trips	Internetgebruikers (3200) Online vragenlijst	Beperkt (Op korte termijn) Substitutie (Op lange termijn)
Weltevreden en Rotem-Mindali (2009)	61%	27 productcategorieën omgezet naar 3 groepen: andere items, tickets en financiële producten en dagelijkse producten	<u>E-commerce</u> : producten aangekocht bij online retailers anders dan online veilingen en advertenties.	Aantal trips Afgelegde afstand (km)	Lokale consumenten (710) Gestructureerde interviews	Substitutie
Shi et al. (2019)	Niet gegeven	4 categorieën van producten: kledij en schoenen, elektronica, eten en	<u>E-shopper</u> : minstens 1 keer in aan e-shopping doen.	Frequentie trips	Lokale consumenten (175) Vragenlijst	Substitutie

		drinken en cosmetica				
Sim en Koi (2002)	Niet gegeven			Frequentie trips	Huishoudens (Nederland: 807, USA: 446) Vragenlijst	Neutraal/ beperkt
Farag et al. (2006)	Niet gegeven	2 categorieën: niet- dagelijkse en dagelijkse	<u>E-commerce</u> : het online zoeken en het online kopen.	Duurtijd trip Frequentie trips	E-shoppers (3000) Online vragenlijst	Modificatie Complementa riteit

4.1.2 Mobiliteitseffect op goederentransport

In tegenstelling tot de gevolgen op het personenvervoer zijn onderzoekers het in het algemeen eens over de mobiliteitsgevolgen van de thuisbezorgingen op het goederentransport. In diverse onderzoeken (bv. Golob & Regan, 2001; Mokhtarian, 2004; Weltevreden & Rotem-Mindali, 2009; Rotem-Mindali & Weltevreden, 2013; Visser et al., 2014) wordt gesteld dat e-commerce tot meer goederentransport leidt. Daarnaast verwachten de onderzoekers dat het goederentransport efficiënter is dan het personenvervoer dat het (mogelijk) vervangt.

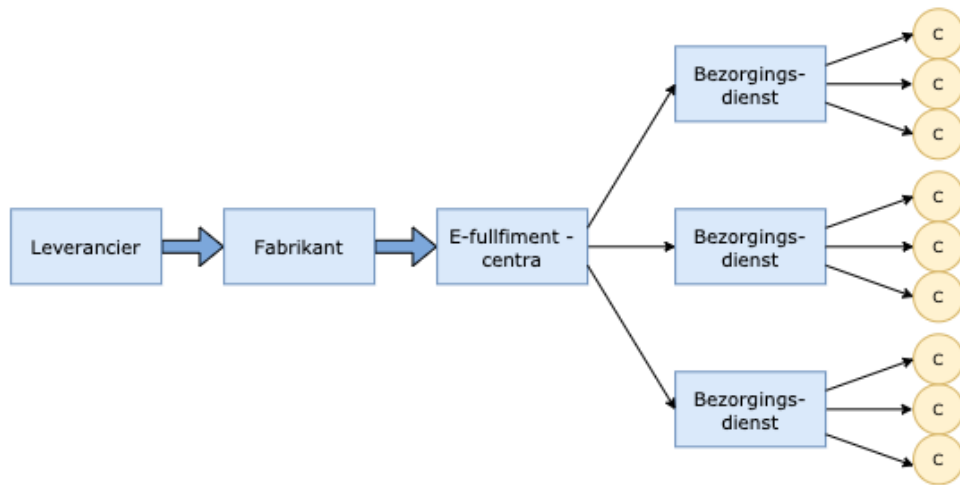
Dat de thuisbezorging op de eerste plaats resulteert in een toename van het goederentransport kan worden verklaard door de invloed die het heeft op het distributiesysteem. In een traditioneel distributiesysteem (figuur 14) worden grote lotgroottes en volumes vervoerd tussen de partners van de toeleveringsketen. Leveranciers, fabrikanten, groothandelaars en kleinhandelaars maken op die manier efficiënt gebruik van de benutting van de vrachtwagens. Vervolgens wordt de last mile uitgevoerd door de consument die het product aankoopt op de locatie van de fysieke winkel (Visser et al., 2014).



Figuur 14: Traditioneel distributiesysteem (eigen werk)

In het e-commerce distributiesysteem dat van toepassing is bij thuisbezorgingen (figuur 15) worden producten allereerst vervoerd naar grote e-fulfillmentcentra. In deze centra worden de individuele bestellingen samengesteld. Vervolgens worden de pakketten door vrachtwagens naar de sorteercentra vervoerd. In de sorteercentra worden de verschillende pakketten geconsolideerd en toegewezen aan een specifieke bezorgingsroute. Ten slotte worden de pakketten in de last mile door middel van kleine bestelwagens naar de consument vervoerd (Visser et al., 2014). In tegenstelling tot het traditionele distributiesysteem wordt in het distributiesysteem dat van toepassing is bij e-commerce het vervoeren van grote volumes dus slechts in een beperkte mate toegepast (Visser et al., 2014). Dit komt doordat de gebruiksvriendelijkheid van e-commerce consumenten stimuleert om frequenter en in kleinere aantallen te bestellen (Mokhtarian, 2004). De kleinere zendingen en de hogere leverfrequentie leiden tot het uiteenvallen van de last mile en uiteindelijk tot een toename van het goederentransport. Een andere oorzaak die tot een verhoogde goederenstroom heeft geleid is het feit dat e-commerce consumenten de opportuniteit biedt om producten aan te kopen bij retailers die op een verre afstand zijn gelegen (Golob & Regan, 2001; Mokhtarian, 2004; Rotem-

Mindali & Weltevreden, 2013). Daarbovenop draagt de toepassing van *reverse logistics*, het retourneren van pakketten, ook bij tot de toename van het goederentransport (Rotem-Mindali & Weltevreden, 2013).



Figuur 15: Distributiesysteem thuisbezorgingen (eigen werk)

Naast het feit dat onderzoekers een toename in het goederentransport vaststelden, ondervonden ze op de tweede plaats dat het goederentransport mogelijk efficiënter is dan het personenvervoer dat het vervangt (bv. Weltevreden & Rotem-Mindali, 2009). Bezorgingsdiensten bundelen verschillende leveringen in één route. Door middel van consolidatie worden pakketten geleverd aan verschillende consumenten in één trip in plaats van in verschillende individuele trips die door de consumenten worden uitgevoerd (personenvervoer). Meer leveringen per trip reduceert de afgelegde afstand voor het goederentransport (Weltevreden & Rotem-Mindali, 2009; Rotem-Mindali & Weltevreden, 2013; Visser et al., 2014). Het goederentransport is efficiënter dan het personenvervoer indien de stijging in het goederentransport kleiner is dan de daling in het personenvervoer (Rotem-Mindali & Weltevreden, 2013). Of het goederentransport al dan niet efficiënter is dan het personenvervoer is afhankelijk van de mate waarin de gesubstitueerde trip naar de fysieke winkel deel uitmaakt van een aaneengeketende trip (*trip chaining*). Zo zal het goederentransport efficiënter zijn dan het personenvervoer indien de gesubstitueerde trip geen deel uitmaakt van een aaneengeketende trip (Mokhtarian, 2004; Weltevreden & Rotem-Mindali, 2009; Rotem-Mindali & Weltevreden, 2013).

Bovenstaande effecten sluiten elkaar niet uit en kunnen dus gelijktijdig voorkomen (Rotem-Mindali & Weltevreden, 2013). Het voorkomen van beide effecten wordt aangetoond door het onderzoek van Weltevreden & Rotem-Mindali (2009). In tegenstelling tot de reductie die wordt gevonden in het personenvervoer, tonen de onderzoekers een toename van zowel het aantal trips als de afgelegde afstand in het goederentransport aan. Daarnaast blijkt dat de toename van het aantal trips van het goederentransport (+30 232 miljoen trips) groter is dan de reductie van het aantal trips in het personenvervoer (-11 288 miljoen trips). In termen van de afstand wordt de reductie van de afgelegde afstand van het personenvervoer daarentegen niet gecompenseerd door de toename van de afgelegde afstand van het goederentransport. De afgelegde afstand in het personenvervoer

daalde namelijk met 0,39% terwijl de afgelegde afstand in het goederentransport slecht met 0,12% toenam. Deze resultaten tonen aan dat het e-shopping efficiënter is dan fysiek shoppen (Weltevreden & Rotem-Mindali, 2009). Dit effect kan verklaard worden door het feit dat de trips in het personenvervoer vaak tweerichtingstrips zijn. De trips in het goederentransport zijn vaak éénrichtingstrips die deel uitmaken van een efficiënte route waar slechts naar het depot wordt teruggekeerd na de laatste stop in de route. Er wordt dus niet heen-en-weer gereden tussen een consument en het depot. Hierdoor is de lengte van de trip vaak kleiner (Weltevreden & Rotem-Mindali, 2009).

4.1.3 Netto mobiliteitseffect

Het formuleren van één conclusie omtrent de impact van e-commerce en de thuisbezorgingen op de mobiliteit is gecompliceerd (Weltevreden, 2007; Rotem-Mindali & Weltevreden, 2013). In de bestaande literatuur worden verschillende effecten vastgesteld betreffende de mobiliteitseffecten op zowel het personenvervoer als het goederentransport (Rotem-Mindali & Weltevreden, 2013). Zo verwachten sommige onderzoekers dat e-commerce en de thuisbezorgingen leiden tot minder personenvervoer en meer goederentransport (bv. Weltevreden & Rotem-Mindali, 2009). Met andere woorden, zij verwachten dat het goederentransport het personenvervoer substitueert en dat er meer aan huis wordt geleverd en minder in een fysieke winkel wordt aangekocht. Volgens Visser et al. (2014) is het mobiliteitseffect dat e-commerce genereert in de realiteit complexer. Zij verwachten dat de impact op het personenvervoer neutraal of beperkt blijft omdat consumenten aan *trip chaining* doen. Daarnaast beweren ze dat het goederentransport omwille van consolidatie efficiënter verloopt (Visser et al., 2014).

Dat in de bestaande literatuur verschillende conclusies worden geformuleerd betekent niet dat sommige studies verkeerde conclusies trekken (Rotem-Mindali & Weltevreden, 2013). Welk mobiliteitseffect uiteindelijk domineert is afhankelijk van de definitie van de begrippen, de assumpties die in het onderzoek worden gemaakt, de karakteristieken van de onderzochte consumenten, de productcategorieën, het niveau van *trip chaining*, de variaties in de onderzoeksmethode en de tijd en geografisch context van de dataverzameling (Weltevreden 2007; Weltevreden & Rotem-Mindali, 2009; Rotem-Mindali & Weltevreden, 2013).

De thuisbezorging is vanuit het perspectief van de consument de geprefereerde leveringsmethode. Vanuit logistiekperspectief daarentegen vormt de thuisbezorging de meest problematische leveringsmethode in termen van servicekosten en organisatie (Morganti et al., 2014). De *last mile* wordt beschouwd als het duurste onderdeel van de toeleveringsketen (Cárdenas et al., 2017). Wanneer de consument het pakket niet kan ontvangen op het ogenblik dat de bezorgingsdienst hem/haar bezoekt, dan resulteert deze niet-succesvolle leveringspoging in bijkomende operationele kosten (Florio, Feillet, & Hartl, 2018). Daarnaast bestellen consumenten frequent(er) kleine hoeveelheden online en verwachten dat deze snel worden geleverd, bijvoorbeeld levering binnen de 24 uur (Moroz & Polkowski, 2016). Dit belemmert een efficiënte organisatie van de leveringen.

De verwachting dat het internet shoppen in de toekomst zal toenemen betekent ook dat er meer leveringen aan huis zullen plaatsvinden. De problemen van de *last mile* die bezorgingsdiensten ondervinden worden in dat geval belangrijker (Morganti et al., 2014). Bezorgingsdiensten staan voor een uitdaging. Zij moeten op zoek naar een levermethode die een balans biedt tussen efficiënte leveringen en een hoge dienstverlening (Morganti et al., 2014; Florio et al., 2018).

4.2 Ophaalpunten

Het gebruik van ophaalpunten treedt op als een alternatieve levermethode om producten ter beschikking van de consument te stellen. Ophaalpunten zijn locaties waar consumenten de online aangekochte producten kunnen ophalen en terugzenden (Weltevreden, 2008; Visser et al., 2014). Deze levermethode wordt door onderzoekers naar voren geschoven als een oplossing om de fragmentatie in de *last mile* te verminderen (Morganti et al., 2014). Tegenwoordig worden ophaalpunten echter voornamelijk gebruikt voor het terugzenden van een online bestelling of het ophalen van een online bestelling nadat de levering aan huis niet succesvol was (Weltevreden, 2008; Song, Cherrett, Guan, & Zhang, 2012; Visser et al., 2014). De twee vormen van ophaalpunten die in deze masterproef worden besproken zijn afleverpunten in winkels en lockerautomaten op openbare plaatsen (Figuur 8). Tabel 2 geeft een overzicht van de ophaalpunten in België.

4.2.1 Afleverpunten in winkels

Afleverpunten zijn bemande ophaalpunten waarbij de online bestelde pakketten in een winkel, tankstation of postkantoor worden geleverd (Weltevreden, 2008; Visser et al., 2014). Consumenten kunnen pakketten ophalen of terugzenden en het personeel van de winkel handelt de ophaalprocedure af (Weltevreden, 2008, Morganti et al., 2014).

4.2.2 Lockerautomaten op openbare plaatsen

Lockerautomaten zijn onbemande ophaalpunten die bestaan uit een collectie van lockers (Weltevreden, 2008; Visser et al., 2014). Consumenten kunnen online bestelde pakketten ophalen of terugzenden aan de lockerautomaten. Deze zijn bovendien vaak gelegen bij publieke locaties die reeds trips genereren (bv. winkels, stations, postkantoren ...) (Weltevreden, 2008). Consumenten kunnen gebruik maken van de Cubee pakjesautomaten, waarvan er in België 200 aanwezig zijn op publieke plaatsen (Figuur 16). Bij het plaatsen van een online bestelling kiest de consument een lockerautomaat in de buurt en ontvangt hij/zij bij de levering een e-mail of een sms. Deze bevat een QR-code en een cijfercode die de consument moet scannen om de locker(s) te openen en het pakket in ontvangst te nemen. De werking en het gebruik van de Cubee pakjesautomaten wordt beschreven op de website van Cubee (<https://cubee.be>).

Tabel 2: Overzicht van de ophaalpunten in België¹

Bedrijf	Soort ophaalpunt	Aantal	Voorbeelden
Bpost	Afleverpunten	2300	Postkantoor, postpunten (Delhaize, Spar, ...) en Kariboo-punten
	Lockerautomaten	200	Cubee pakjesautomaat
DHL	Afleverpunten	1250	Relay, Delhaize, Carrefour, ...
	Lockerautomaten	200	Cubee pakjesautomaat
GLS	Afleverpunten	600	Dagbladhandelaar, Boekenhandel, ...
	Lockerautomaten	200	Cubee pakjesautomaat
DPD	Afleverpunten	800	Tankstations Esso en Shell, Smatch, ...
	Lockerautomaten	200	Cubee pakjesautomaat



Figuur 16: Cubee pakjesautomaat (<https://cubee.be>)

4.2.3 Mobiliteitseffect op personentransport

Ondanks het feit dat ophaalpunten optreden als een interessant alternatief voor thuisbezorgingen, wordt in de bestaande literatuur in beperkte mate onderzoek verricht naar het gebruik en de mobiliteitsgevolgen van deze levermethode (Weltevreden, 2008). Onderzoeken die betrekking hebben tot het mobiliteitseffect van de ophaalpunten op het personentransport (ten opzichte van de thuisbezorgingen) duiden op twee mogelijke effecten.

In de eerste plaats heeft onderzoek zoals verricht door Brummelman, Kuipers en Vale (2013) aangetoond dat het gebruik van ophaalpunten een neutrale of beperkte impact heeft op het personentransport. Indien een ophaalpunt de eerste leveringslocatie is, dan kan de consument de locatie van het ophaalpunt kiezen. In dat geval beschikt de consument over de opportuniteit om aan *trip chaining* te doen en de trip naar het gekozen ophaalpunt te linken aan andere activiteiten.

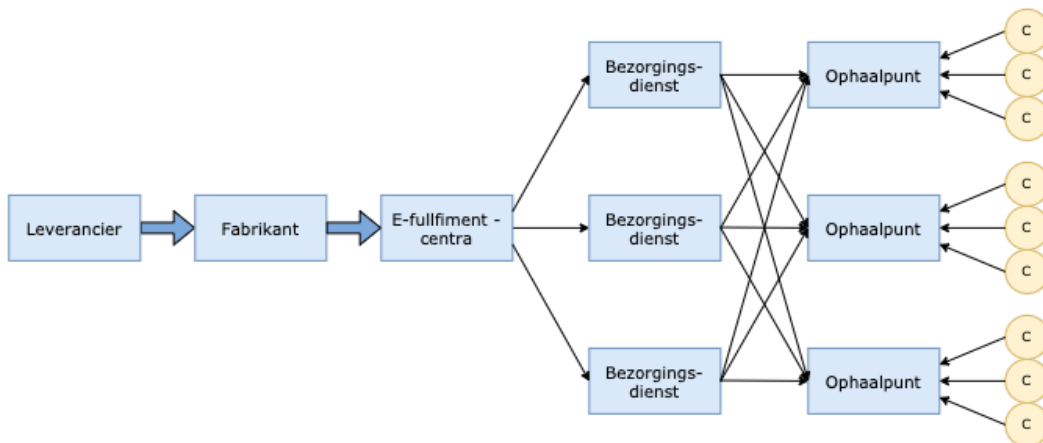
¹ Aantallen op 5 april 2020, geraadpleegd via de websites van Bpost (<https://www.bpost.be>), DHL (<https://www.dhlparcels.be>), GLS (<https://gls-group.eu/BE>) en DPD (<https://www.dpd.com/be>).

Daarnaast zijn de ophaalpunten vaak in de buurt van woonlocaties of locaties die consumententrips genereren gelegen. De afstand die de consument moet afleggen tot aan het ophaalpunt is in dat geval relatief klein (Weltevreden, 2008; Weltevreden & Rotem-Mindali, 2009).

In de tweede plaats verwachten sommige onderzoekers (bv. Van Oosterhout, 2004) dat het personentransport toeneemt door de toepassing van de ophaalpunten. De leveringen aan de ophaalpunten substitueren namelijk de leveringen aan huis waardoor de consument een bijkomende afstand moet afleggen om zijn/haar pakket in ontvangst te nemen. De afgelegde afstand voor de consument neemt dan toe (Van Oosterhout, 2004; Song et al., 2012).

4.2.4 Mobiliteitseffect op goederentransport

In de bestaande onderzoeken naar de ophaalpunten als alternatieve levermethode komen consistente conclusies naar voren over het mobiliteitseffect op het goederentransport. Allereerst hebben meerdere onderzoekers (bv. Brummelman et al., 2003; Van Oosterhout, 2004, Song et al., 2012) aangegeven dat de ophaalpunten resulteren in een vermindering van het goederentransport (in termen van de afgelegde afstand). De substitutie van de thuisbezorging door de ophaalpunten heeft een invloed op het distributiesysteem (Figuur 17), of meer bepaald op de fragmentatie in de *last mile*. De *last mile* wordt in het distributiesysteem dat van toepassing is bij de ophaalpunten, uitgevoerd door de consumenten waardoor de fragmentatie in het laatste stadium van de toeleveringsketen verminderd (Morganti et al., 2014). In tegenstelling tot de thuisbezorging, waar een groot aantal consumenten wordt bezocht, leveren bezorgingsdiensten namelijk aan een beperkter aantal ophaalpunten.



Figuur 17: Distributiesysteem ophaalpunten (eigen werk)

4.2.5 Netto mobiliteitseffect

Het exacte mobiliteitseffect van de ophaalpunten op het personenvervoer en het goederenvervoer is in de bestaande literatuur nog steeds onduidelijk. Deze onduidelijkheid kan enerzijds worden toegeschreven aan het feit dat in de bestaande literatuur weinig onderzoek wordt verricht naar de toepassing van de ophaalpunten door consumenten. De onderzoeken zijn vaak descriptief en de weinige empirische onderzoeken zijn voornamelijk casestudies. Anderzijds stellen onderzoekers verschillende effecten vast (Weltevreden, 2008). Zo verwachten Bummelman et al. (2003) dat de ophaalpunten tot minder goederenvervoer leiden en een beperkte toename in het personenvervoer teweegbrengt. Andere onderzoekers (bv. Van Oosterhout, 2004) ondervonden daarentegen een toename van het personenvervoer en een afname van het goederenvervoer. Ondanks de verschillende onderzoeken concluderen de studies naar de mobiliteitseffecten van ophaalpunten dat deze levermethode tot een reductie van de netto mobiliteit leidt (Bummelman et al., 2003; Van Oosterhout, 2004; Weltevreden, 2008)

De verschillende conclusies kunnen verklaard worden doordat de focus van het onderzoek, de assumpties, de methodologie en het niveau van trip chaining kan variëren tussen de onderzoeken (Weltevreden, 2008). Zo tonen bijvoorbeeld het onderzoek van McLeod, Cherrett en Song (2006) en dat van Bummelman et al. (2003) aan dat een verschillende focus tot een ander mobiliteitseffect kan leiden (Weltevreden, 2008). McLeod et al. (2006) stellen vast dat het gebruik van ophaalpunten tot minder personenvervoer en meer goederenvervoer leidt. De focus van hun onderzoek lag op de mobiliteitseffecten van het gebruik van ophaalpunten als levermethode om de niet-succesvolle leveringen van de thuisbezorging op te halen. De mobiliteitsgevolgen van de ophaalpunten werden vergeleken met de mobiliteitsgevolgen van de ophaling bij het depot van de bezorgingsdiensten (McLeod et al., 2006; Weltevreden, 2008). Bummelman et al. (2003) stellen daarentegen een beperkte toename van het personenvervoer en een reductie in het goederenvervoer vast. De focus van dit onderzoek ligt in, tegenstelling tot dat van McLeod et al. (2006), op de mobiliteitsgevolgen van de ophaalpunten als eerste levermethode (Bummelman et al., 2003; Weltevreden, 2008).

4.3 Voor- en nadelen van de levermethodes van e-commerce bestellingen

Iedere levermethode heeft zijn eigen sterktes en zwaktes. Het gebruik van de verschillende levermethodes door de consument, de bezorgingsdienst en de e-bedrijven wordt op basis van een aantal factoren met elkaar vergeleken in Tabel 3.

Tabel 3: Vergelijking van de sterktes en zwaktes van de verschillende levermethodes

	Thuisbezorging	Afleverpunten in winkels	Lockerautomaten op openbare plaatsen
Consumenten			
Flexibele openingstijden	-	-/+	+
Anonimiteit bij ontvangst	-	-	+
Opslagmogelijkheden	-/+	+	-
Risico op diefstal en/of schade	-/+	+	-
Mogelijkheid tot trip chaining	-	+	-/+
Makkelijk in gebruik	+	+	-
Betalingsopties	+	+	-
Bezorgingsdienst en e-bedrijven			
Succesvolle eerste leveringen	-	+	+
Dienstverlening	-/+	+	+
Mogelijkheid tot consolidatie	-/+	+	+
Opzetten netwerk	+	+	-

4.3.1 De consument

De lockerautomaten op openbare plaatsen bieden de meest flexibele openingstijden aan, ze zijn namelijk 24 uur per dag beschikbaar. Bij de afhandeling van een pakket in een afleverpunt in een winkel moet de consument zich houden aan de openingstijden van de winkel (Weltevreden, 2008). Bij beide vormen van ophaalpunten kan de consument echter het pakket ophalen op een tijdstip dat voor hem/haar het beste uitkomt (Moroz & Polkowski, 2016; Vakulenko et al., 2018). Bij de thuisbezorging van een pakket moet de consument daarentegen in sommige gevallen thuisblijven om het pakket in ontvangst te nemen. Sommige pakketten passen namelijk niet in de brievenbus en/of is een handtekening bij ontvangst vereist (Weltevreden, 2008; Moroz & Polkowski, 2016; Florio et al., 2018). Ook moet de consument zich houden aan de werkuren van de bezorgingsdiensten (Moroz & Polkowski, 2016). In termen van openingstijden is de thuisbezorging in vergelijking met beide vormen van ophaalpunten dus een minder flexibele levermethode. Webshops proberen dit probleem op te lossen door de consumenten door middel van een tijdsvenster te informeren over het tijdstip van de levering (Visser et al., 2014). Steeds meer webshops geven de consumenten ook de keuze om tegen betaling een tijdsvenster te kiezen (bv. Coolblue).

Daarnaast is er bij de collectie van een pakket aan een lockerautomaat geen menselijke interactie vereist waardoor de collectie anoniem kan gebeuren (Weltevreden, 2008). Hierdoor kan de afhaling van het pakket echter moeilijker verlopen omdat consumenten eerst bepaalde stappen moeten doorlopen. Sommige consumenten geven daarentegen de voorkeur aan de afleverpunten in winkels omdat bij deze levermethode wel menselijk contact aanwezig is (Vakulenko et al., 2018). Het personeel van de winkel handelt in dat geval de procedure voor de ophaling van het pakket af (Weltevreden, 2008).

Ook is het niet altijd mogelijk om pakketten op te slaan in lockerautomaten omwille van de vaste afmeting van de lockers. De afleverpunten en de thuisbezorging zijn in dat geval betere opties. Bij de afleverpunten kunnen de pakketten in het magazijn van de winkel worden opgeslagen (Weltevreden, 2008).

De kans op schade en diefstal is groter bij lockerautomaten dan bij de afleverpunten omdat de lockers vaak gelegen zijn op openbare plaatsen. Bij afleverpunten worden de pakketten namelijk veilig opgeslagen in het magazijn. Indien de consument niet aanwezig is op het ogenblik dat het pakket geleverd wordt en de bezorgingsdienst het pakket onbewaakt moet achterlaten, is de kans op diefstal en schade ook groot bij de thuisbezorging als levermethode (Weltevreden, 2008).

Beide vormen van ophaalpunten creëren opportuniteiten voor de consument om aan *trip chaining* te doen. De ophaling van het pakket wordt dan gecombineerd met andere shoppingsactiviteiten. Dit is niet mogelijk bij de thuisbezorging als levermethode.

Ten slotte bieden zowel de thuisbezorging als de afleverpunten in winkels meer betalingsopties aan dan de lockerautomaten (Weltevreden, 2008). Verder zijn de afleverpunten in winkels en de thuisbezorging in vergelijking met de lockerautomaten vaak makkelijker in gebruik. Het is mogelijk dat bepaalde consumenten (bv. de oudere generatie) moeilijkheden ondervinden bij het openen van de lockerautomaten (Vakulenko et al., 2018). De stappen die doorlopen moeten worden, kunnen onduidelijk zijn en er is geen personeel aanwezig om te helpen.

4.3.2 Bezorgingsdiensten en e-bedrijven

Een terugkerend probleem dat bezorgingsdiensten ondervinden bij de leveringen aan huis is het mislukken van de eerste leveringen waardoor herhaalde leveringen moeten plaatsvinden (Moroz & Polkowski, 2016). De afwezigheid van de consument bij de levering van een pakket leidt tot een niet-succesvolle levering (Florio et al., 2018). De bezorgingsdienst moet in dat geval het pakket voor een tweede keer aan huis leveren, aan een ophaalpunt leveren of terugsturen naar de webshop. Hierdoor neemt de levertijd toe en loopt de bezorgingsdienst extra operationele kosten op (Weltevreden, 2008; Visser et al., 2014; Florio et al., 2018). In de literatuur worden de ophaalpunten naar voren geschoven als een mogelijke oplossing voor de niet-succesvolle leveringen aan huis (Weltevreden, 2008; Morganti et al., 2014). Het risico van niet-succesvolle leveringen wordt vermeden doordat in afleverpunten in winkels altijd personeel aanwezig is om de pakketten in ontvangst te nemen. Bij de automatische lockerautomaten levert de bezorgingsdienst de pakketten

in de lockers (<https://cubee.be>). Hierbij stelt het probleem van niet-succesvolle leveringen zich dus nooit voor.

De keuze van de consument voor een bepaalde webshop wordt onder andere beïnvloed door de dienstverlening die wordt aangeboden (Visser et al., 2014). Consumenten worden steeds veeleisender en verwachten een snelle levering (Florio et al., 2018). Bij leveringen aan huis trachten e-bedrijven zich dan ook te differentiëren door leveringen binnen de 24 uur aan te bieden of soms zelf leveringen op dezelfde dag (Morganti et al., 2014). Indien de pakketten niet geleverd worden op het vooropgestelde tijdstip, leidt dit echter tot ontevreden consumenten (Florio et al., 2018). Zoals eerder werd aangehaald doen leveringen naar ophaalpunten het aantal succesvolle eerste leveringen toenemen (Weltevreden, 2008; Morganti et al., 2014). Daarbovenop zijn de leveringen aan ophaalpunten sneller dan leveringen aan huis (Vakulenko et al., 2018). Dit kan mogelijk de consument motiveren om gebruik te maken van een ophaalpunt.

Bij zowel thuisbezorgingen als ophaalpunten is het mogelijk om de verschillende pakketten te consolideren waardoor de levering efficiënter verloopt. Zo worden pakketten die aan huis worden geleverd toegewezen aan een bepaalde route. Op deze manier worden verschillende consumenten in één route bezocht. Bij de ophaalpunten zijn bezorgingsdiensten in staat om de pakketten van verschillende consumenten te bundelen in één route naar de ophaalpunten (Visser et al., 2014; Moroz & Polkowski, 2016)

Ten slotte is het moeilijk om een rendabel netwerk van lockerautomaten op te zetten. Het succes van de lockerautomaten is namelijk afhankelijk van de bereikbaarheid voor de consumenten (Weltevreden, 2008). Uit verschillende onderzoeken blijkt dat consumenten eerder bereid zijn om gebruik te maken van de lockerautomaten indien deze zich in de buurt van de consumenten bevinden. Een uitgebreid netwerk van lockerautomaten stimuleert de consument, maar vereist grote investeringen (Weltevreden, 2008; Florio et al., 2018). Bij het gebruik van lockerautomaten is dan ook voldoende volume vereist opdat deze financieel rendabel zouden zijn.

4.4 Innovatieve levermethodes

Naast thuisbezorging en ophaalpunten worden in de literatuur een aantal innovatieve levermethodes besproken die geïmplementeerd kunnen worden om leveringen efficiënter en duurzamer te maken. In deze sectie worden de volgende drie innovatieve levermethodes voor e-commerce bestellingen beschreven: levering in de koffer van een auto, cargofietsen en drones.

4.4.1 Kofferruimte van een auto

De levering van een pakket in de kofferruimte van een geparkeerde auto wordt voorgesteld als een alternatieve levermethode voor online bestellingen (Moroz & Polkowski, 2016; Reyes et al., 2017; Ozbaygin, Karasan, Savelsberg, & Yaman, 2017). Consumenten die over een auto beschikken zijn door middel van deze innovatieve levermethode in staat om een pakket te ontvangen zonder zelf aanwezig te moeten zijn bij de levering of deze nadien in een ophaalpunt op te halen (Reyes et al., 2017).

Deze levermethode vereist software die GPS-tracking mogelijk maakt en de bezorgingsdiensten toegang verleent tot de kofferruimte van auto's. De technologie die dit mogelijk maakt wordt reeds geïntegreerd in de nieuwste automodellen. Automotive bedrijven en logistieke dienstverleners gaan partnerships aan om deze levermethode te testen (bv. Audi en DHL) (Reyes et al., 2017). Ook in België werd door Bpost een proefproject opgestart waarbij pakketten besteld door de werknemers van het IT-bedrijf Cronos in de koffer werden geleverd in plaats van bij de receptie van het bedrijf. In deze eerste testfase gaf het bedrijf reeds aan dat deze levermethode zeer gebruiksvriendelijk is en een vermindering van de werklast van de onthaalmedewerkers teweegbrengt (<https://ecommerceblogpost.be>).

Het leveringsproces start bij de consument die ervoor kiest om een pakket in zijn/haar auto te laten leveren. De consument geeft daardoor aan de bezorgingsdiensten de toestemming om zijn/haar auto te lokaliseren. De bezorger ontvangt vervolgens een digitale code waardoor de koffer van de auto geopend kan worden. De code kan één keer en voor slechts een bepaalde periode gebruikt worden en vervalt wanneer de koffer wordt gesloten. De consument ontvangt nadien een melding dat het pakket is geleverd en dat de auto terug op slot is (Reyes et al., 2017).

De levering in de koffer van een auto biedt opportuniteiten aan voor het optimaliseren van de *last mile*. Zo toont de studie van Reyes et al. (2017) aan dat het gebruik van deze levermethode de totale afgelegde afstand, afhankelijk van de locatie van het depot, met 40 tot 65 procent kan verminderen. Daarnaast toont ook het onderzoek van Ozbaygin et al. (2017) aan dat de combinatie van aan huis leveringen en de levering in de koffer van een auto tot een gemiddelde kostenbesparing van 20% kan leiden.

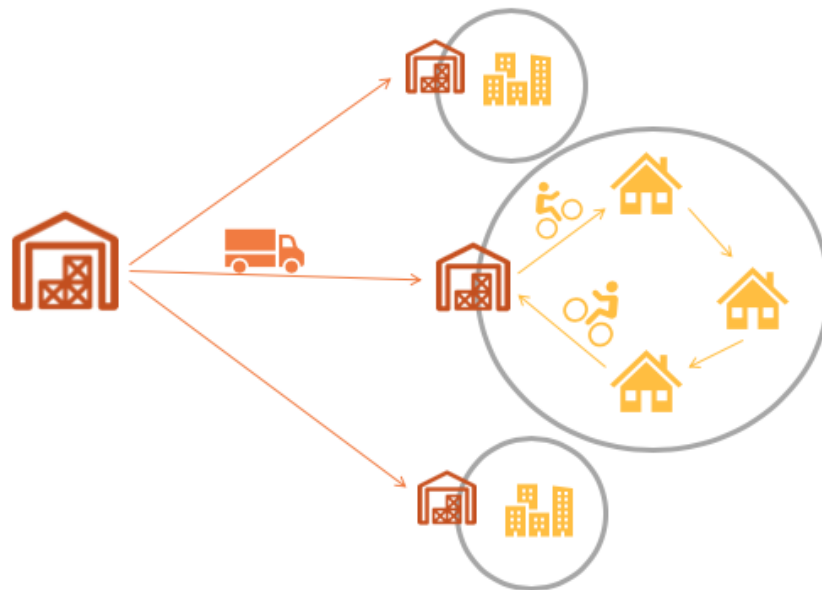
4.4.2 Cargofietsen

De cargofietsen (Figuur 18) worden door bezorgingsdiensten voorgesteld als een milieuvriendelijke levermethode voor leveringen in stedelijke gebieden (Schliwa, Armitage, Aziz, Evans, & Rhoades, 2015). De cargofietsen worden voornamelijk ingezet om de impact van het goederentransport op de omgeving te reduceren. Deze levermethode biedt namelijk opportuniteiten om het drukke verkeer in de steden te vermijden waardoor externe effecten zoals congestie, geluidsoverlast en emissie vermeden worden. De toepassing van cargofietsen wordt echter belemmerd door onder andere de lage laadcapaciteit van de fietsen, de langzame fietssnelheid en de lange levertijd (Arnold, Cárdenas, & Dewulf, 2018).



Figuur 18: Cargofietsen van DHL (<https://www.dhlexpress.be>)

Bij deze levermethode wordt een onderscheid gemaakt tussen twee routes (Figuur 19). De eerste route (oranje route) vertrekt bij de distributiecentra waar pakketten gebundeld worden en vervolgens door middel van bestelwagens naar stedelijke leverpunten worden gebracht. De tweede route (gele route) wordt uitgevoerd door de cargofietsen. Deze vertrekt vanuit de stedelijke levercentra en eindigt bij het leveren van de pakketten aan de consumenten. De stedelijke levercentra treden op als een overslagpunt tussen de bestelwagens en de cargofietsen (Arnold et al., 2018).



Figuur 19: Levering van online bestellingen door middel van cargofietsen (eigen werk)

Uit onderzoek blijkt dat cargofietsen mogelijkheden bieden om bestelwagens in steden te vervangen. Zo blijkt uit de casestudie van Arnold et al. (2018) dat de afgelegde afstand met bestelwagens in stedelijke gebieden daalt door het gebruik van cargofietsen. In deze casestudie daalt de afstand, afgelegd door bestelwagens, namelijk van 536 kilometer tot 141 kilometer. Door deze daling wordt ook een reductie van 40% van de externe kosten vastgesteld. De operationele kosten stegen daarentegen met 9%. Deze stijging wordt veroorzaakt door enerzijds de lage capaciteit van de cargofietsen en anderzijds de langere levertijden. De onderzoekers geven echter aan dat naarmate de capaciteit toeneemt, de operationele kosten dalen. Verder speelt ook de verstedelijking van de gebieden een rol in het reduceren van de operationele kosten. Dichte stedelijke gebieden zijn namelijk makkelijk bereikbaar met de fiets waardoor de levertijd daalt (Arnold et al., 2018).

4.4.3 Drones

Drones worden in de literatuur gedefinieerd als kleine onbemande luchtvoertuigen en kunnen worden ingezet om *last mile* leveringen te verrichten (Kitjacharoenchai et al., 2019). Leveringen door middel van drones reduceren de levertijd omdat drones sneller zijn dan bestelwagens. Drones moeten zich namelijk niet houden aan de weginfrastructuur en kunnen gebieden bereiken die moeilijk bereikbaar zijn voor bestelwagens (bv. lage emissiezones) (Yurek & Ozmutlu, 2018). Het gebruik van drones als alternatieve levermethode wordt echter gehinderd door de regulatie omtrent het gebruik van drones en de mogelijkheid tot overtreding van de privacy (Kitjacharoenchai et al., 2019).

De drone vertrekt aan het distributiecentrum en levert het pakket rechtstreeks aan de consument. Door onder andere de beperkte laadcapaciteit van de drone en de batterij kan de drone slechts één consument per vlucht bezoeken. Door de technische beperkingen moet de drone dan ook na elke levering terugkeren naar het distributiecentrum (Yurek & Ozmutlu, 2018). Om deze problemen te overkomen wordt de drone soms gebruikt in combinatie met een bestelwagen. In dat geval bevindt de drone zich op het dak van de bestelwagen en levert gelijktijdig met de bestelwagen pakketten

aan de consumenten. Na de levering keert de drone terug naar de bestelwagen die zich op dezelfde locatie bevindt of die reeds onderweg is naar de volgende consument op de route. De drone en de bestelwagen kunnen worden ingezet als complementaire levermethodes. De drone kan namelijk moeilijk bereikbare gebieden betreden en kan kilometers besparen bij routes waarvan de consument ver van elkaar gelegen zijn. De bestelwagens hebben daarentegen een grotere capaciteit en is in staat om de drone op te laden (Yurek & Ozmutlu, 2018; Kitjacharoenchai et al., 2019).

In tegenstelling tot het gebruik van cargofietsen, is het gebruik van drones vooral voordelig indien het gaat over leveringen naar landelijke gebieden. In stedelijke gebieden hinderen de hoge gebouwen en de bevolkingsdichtheid het gebruik van drones (Yurek & Ozmutlu, 2018).

5 Het Vehicle Routing Problem

De term *Vehicle Routing Problem* (VRP) werd geïntroduceerd door Danzig en Ramser (1959) en wordt door onderzoekers, omwille van de praktische relevantie in onder andere de transportsector en de logistieke sector, uitgebreid bestudeerd. Het probleem dat door een VRP wordt vooropgesteld, is het bepalen van een routeplan waarbij één of meerdere transportverzoeken worden uitgevoerd door een gegeven vloot van voertuigen. Het routeplan bepaalt welk voertuig een bepaald transportverzoek uitvoert en legt de volgorde vast waarin de transportverzoeken worden gerealiseerd. De routes uit het routeplan moeten verder ook toegelaten zijn in termen van de vooropgestelde randvoorwaarden (bijvoorbeeld in termen van de capaciteit) en optimaliseren een bepaalde doelstelling (Toth & Vigo, 2014).

In bestaand onderzoek worden verschillende varianten van het VRP geïntroduceerd en uitgebreid besproken. De meest bestudeerde en ook basisvariant van het VRP is het *Capacitated Vehicle Routing Problem* (CVRP). In deze variant van het VRP bestaat het transportverzoek uit het opstellen van een routeplan waarbij goederen door middel van een gegeven vloot van voertuigen vanuit één distributiecentrum naar een gegeven aantal consumenten gedistribueerd worden. In het routeplan worden consumenten toegewezen aan een route en wordt voor elke route de volgorde vastgelegd waarin de verschillende consumentenlocaties bezocht worden. Elke route begint en eindigt aan het depot (gesloten route) en wordt door slechts één voertuig uitgevoerd. In het CVRP voeren homogene voertuigen met een identieke en gelimiteerde laadcapaciteit en een identieke kostenstructuur de routes uit. Elke consument heeft een bepaalde vraag naar goederen. De routes zijn toegelaten indien de laadcapaciteit van de voertuigen niet wordt overschreden en elke consument één keer wordt bezocht.

Het CVRP kan verder worden uitgebreid door de toepassing van tijdsvensters (TW). Een tijdsvenster is een tijdsinterval dat de periode aangeeft waarin de levering van de goederen moet plaatsvinden. In de literatuur wordt een onderscheid gemaakt tussen een *hard* en *soft* tijdsvenster. Bij een *hard* tijdsvenster kunnen de leveringen pas plaatsvinden bij de start van het tijdsvenster en bovendien nooit na het tijdsvenster. Dit betekent dat indien de voertuigen voor aanvang van het tijdsvenster aankomen bij de consument, ze moeten wachten tot de start van het tijdsvenster om de goederen te leveren. In tegenstelling tot een *hard* tijdsvenster kan de levering bij een *soft* tijdsvenster wel plaatsvinden buiten de periode die wordt aangegeven door het tijdsvenster. Bij de schending van het tijdsvenster zal echter een boete worden opgelegd. Het vooropstellen van tijdsvensters is een bijkomende randvoorwaarde waaraan de routes moeten voldoen. Het optimale routeplan van een CVRP-TW kan dan ook verschillen van het optimale routeplan van een CVRP zonder tijdsvensters (Toth & Vigo, 2014).

Naast de hierboven vernoemde uitbreiding op het CVRP, worden ook andere varianten van het CVRP in de bestaande literatuur grondig bestudeerd. VRP's kunnen namelijk variëren in onder andere het transportverzoek, de samenstelling van het wagenpark en de geoptimaliseerde doelstelling. Zo maakt bijvoorbeeld het *Pickup and Delivery Problem* (PDP) deel uit van de VRP-familie. Het transportverzoek van het PDP verschilt met dat van het CVRP. In een PDP moeten goederen namelijk

vervoerd worden tussen verschillende oorsprongen en verschillende eindbestemmingen. De vraag van de consumenten kan betrekking hebben tot de levering of de ophaling van goederen. Een andere variant van het VRP is het VRP met heterogene voertuigen (HFVRP). In tegenstelling tot het CVRP, waar een homogeen wagenpark wordt verondersteld, is het bij een heterogeen wagenpark wel mogelijk dat de capaciteit en de kostenstructuur van de voertuigen verschillen. Een andere variant van het VRP is het *multi depot* VRP (MDVRP). In deze variant is het mogelijk dat het distributiecentrum waar de voertuigen vertrekken verschillend is aan dat waar ze hun route eindigen. Ten slotte kunnen VRP's verschillen in de doelfunctie die ze vooropstellen. Het routeplan kan bijvoorbeeld worden opgesteld zodat deze de kosten minimaliseert of de opbrengst maximaliseert. Ook is het mogelijk dat het routeplan de afstand of de duurtijd minimaliseert.

Om na te gaan of het gebruik van ophaalpunten een efficiënt alternatief is voor de leveringen aan huis wordt in deze masterproef het *Capacitated Vehicle Routing Problem met Time Windows* (CVRP-TW) geoptimaliseerd. Consumenten worden aan routes toegewezen die door homogene voertuigen worden uitgevoerd. Elke route vertrekt en eindigt aan éénzelfde distributiecentrum. De doelstelling die wordt vooropgesteld is het minimaliseren van de afstand. In sommige analyses worden de tijdsvensters toegepast waarbij de bestelwagens binnen een vooropgesteld tijdsinterval moeten leveren. Ten slotte is het VRP dat wordt toegepast statisch en deterministisch. De vraag van de consumenten is namelijk op voorhand gekend en verandert niet bij de uitvoering van de routes. Een uitgebreide bespreking van het Vehicle Routing Problem dat in deze masterproef wordt toegepast, komt aan bod in de empirische studie.

Empirische studie

6 Methodologie

6.1 Doelstellingen

Om na te gaan of het gebruik van ophaalpunten een efficiënt alternatief is voor de thuisbezorging van online bestellingen, worden in het empirische onderzoek zes hypothesen getest. Om deze hypothesen te onderzoeken, wordt een artificiële dataset verondersteld met één voertuigdepot en consumenten die geclusterd of willekeurig gesitueerd zijn in een vlak. Er worden verschillende scenario's bestudeerd met betrekking tot het percentage van de consumenten waarvan de pakketten aan een ophaalpunt worden geleverd in plaats van aan het thuisadres van de consumenten. In scenario's 1, 2, 3 en 4 bedraagt het percentage van de consumenten dat een ophaalpunt gebruikt respectievelijk 0%, 25%, 50% en 75% van de consumenten.

Hypothese 1a onderzoekt het algemene effect van de ophaalpunten op de afgelegde afstand van het goederentransport. Deze hypothese test of het gebruik van de ophaalpunten een daling van het goederentransport teweegbrengt. In de literatuurstudie werd reeds aangehaald dat meerdere onderzoekers aangeven dat de ophaalpunten tot een daling van het goederentransport leiden. De bezorgingsdiensten leveren namelijk aan een beperkter aantal locaties omdat de pakketten van verschillende consumenten op één locatie, namelijk het ophaalpunt, worden geleverd.

Hypothese 1a: Het gebruik van ophaalpunten brengt een daling in het goederentransport teweeg.

Hypothese 1b onderzoekt het algemene effect van de ophaalpunten op de afgelegde afstand van het personenvervoer. Er wordt verondersteld dat het gebruik van ophaalpunten resulteert in meer personenvervoer. De leveringen aan de ophaalpunten vervangen de leveringen aan huis. Indien consumenten niet aan *trip chaining* doen, leggen consumenten een bijkomende afstand af tot de ophaalpunten om hun pakket in ontvangst te nemen.

Hypothese 1b: Het gebruik van ophaalpunten brengt een stijging van het personenvervoer teweeg.

Naast het algemene effect van de ophaalpunten worden voor drie bijkomende parameters bestudeerd of deze een impact hebben op het effect van de ophaalpunten. Deze parameters zijn het percentage van de consumenten dat aan *trip chaining* doet, de geografische spreiding van de consumenten en het percentage van de consumenten dat een tijdsvenster vooropstelt. Zoals reeds werd aangehaald is het mogelijk dat consumenten het ophalen van hun pakket aan een ophaalpunt linken met andere activiteiten (*trip chaining*). Om na te gaan of dit een impact heeft op het effect van de ophaalpunt varieert het percentage van de consumenten dat aan *trip chaining* doet. Verder hebben niet alle instances in de dataset dezelfde structuur. In bepaalde instances zijn de consumenten geclusterd rond een bepaalde attractiepool, bijvoorbeeld een stedelijke omgeving. In andere instances zijn de consumenten dan weer willekeurig verspreid. Daarnaast varieert het percentage van de

consumenten dat een tijdsvenster vooropstelt waarbinnen de levering moet plaatsvinden. De parameters en de bijhorende parametersettings worden in

Tabel 4 weergegeven.

Tabel 4: Parameters en bijhorende parametersettings

Parameters	Parametersettings
Percentage van consumenten dat gebruikt maakt van een ophaalpunt.	(1) 0% (2) 25% (3) 50% (4) 75%
Percentage van consumenten dat aan <i>trip chaining</i> doet.	(1) 0% (2) 25% (3) 50% (4) 75%
Geografische spreiding.	(1) Geclusterd (2) Willekeurig verspreid
Percentage van consumenten dat een tijdsvenster vooropstelt.	(1) 0% (2) 25% (3) 50% (4) 75%

Voor hypothese 1b wordt bijkomend de impact van *trip chaining* op het effect van de ophaalpunten op het personenvervoer getest. Er wordt verondersteld dat indien consumenten het ophalen van hun pakket linken aan andere activiteiten de afstand van het personenvervoer minder sterk zal toenemen. De consumenten leggen in dat geval geen bijkomende afstand af wanneer hij/zij het pakket aan een ophaalpunt gaat halen.

Hypotheses 2a en 2b testen of er een verschil is in het effect van de ophaalpunten wanneer consumenten geografisch geclusterd zijn of willekeurig verspreid zijn. Hypothese 2a veronderstelt dat het effect van de ophaalpunten op het goederenvervoer sterker is indien consumenten willekeurig verspreid zijn. Indien consumenten willekeurig verspreid zijn, is de afstand tussen de verschillende consumenten vaak groter dan de afstand tussen de geclusterde consumenten. Wanneer de bezorgingsdiensten aan een ophaalpunt leveren, wordt meer afstand gereduceerd in het goederenvervoer wanneer consumenten willekeurig verspreid zijn.

Hypothese 2a: Het effect van de ophaalpunten op het goederenvervoer, namelijk de daling van de afstand, is sterker bij willekeurig verspreide consumenten dan bij de geclusterde consumenten.

Hypothese 2b veronderstelt dat het effect van de ophaalpunten op het personenvervoer sterker is bij de willekeurig verspreide consumenten. De ophaalpunten zijn namelijk gelegen rond attractiepolen. De afstand tussen de locatie van de geclusterde consumenten en de ophaalpunten is daardoor kleiner in vergelijking tot de afstand tussen locatie van de willekeurig verspreide consumenten en de ophaalpunten. De stijging van het personenvervoer zal daarom het grootste zijn bij de willekeurig verspreide consumenten.

Hypothese 2b: Het effect van de ophaalpunten op het personenvervoer, namelijk de stijging van de afstand, is sterker bij willekeurig verspreide consumenten dan bij geclusterde consumenten

Hypotheses 3a en 3b bestuderen of er een verschil is in het effect van de ophaalpunten wanneer consumenten een tijdsvenster kiezen voor de levering van hun pakket. Hypothese 3a stelt dat het effect van de ophaalpunten op het goederenvervoer sterker wordt wanneer consumenten een tijdsvenster vooropstellen. Met andere woorden, de daling van het goederenvervoer die door de ophaalpunten wordt teweeggebracht zal groter zijn wanneer een bepaald percentage van de consumenten een tijdsvensters gebruikt. Het gebruik van tijdsvensters is een bijkomende randvoorwaarde waar rekening mee moet gehouden worden wanneer de routes worden opgesteld. Hierdoor is het mogelijk dat het optimale routeplan dat resulteert uit de analyses met de tijdsvensters afwijkt van het routeplan dat resulteert uit de analyses zonder de bijkomende randvoorwaarde van de tijdsvensters. Met andere woorden, de optimale routes voor een scenario zonder tijdsvensters zijn mogelijk niet meer optimaal of niet meer geldig in een scenario met tijdsvensters. Indien pakketten aan een ophaalpunt worden geleverd, kan de levering plaatsvinden voor de start van het tijdsvenster. Het gebruik van ophaalpunten versoepelt de randvoorwaarde waardoor het effect van de ophaalpunten op het goederenvervoer sterker zal zijn.

Hypothese 3a: Het effect van de ophaalpunten op het goederenvervoer, namelijk de daling van de afstand, is sterker wanneer consumenten een tijdsvenster vooropstellen.

Hypothese 3b stelt dat het effect van de ophaalpunten op het personenvervoer niet wordt beïnvloed door de toepassing van de tijdsvensters. De afstand die de consumenten afleggen tot de ophaalpunten verandert niet wanneer ze een tijdsvenster vooropstellen.

Hypothese 3b: Het effect van de ophaalpunten op het personenvervoer, namelijk de stijging van de afstand, wordt niet beïnvloed door de toepassing van tijdsvensters.

Om bovenstaande hypothesen te onderzoeken, worden de scenario's met elkaar vergeleken op basis van drie KPI's: (1) de afgelegde afstand, (2) de transportkosten en (3) de levertijd. De afstand en de transportkosten worden zowel voor het goederenvervoer als voor het personenvervoer berekend, de levertijd wordt enkel voor het goederenvervoer bepaald. Bij het interpreteren van deze KPI's moet echter rekening worden gehouden met het feit dat de doelstelling het minimaliseren van de afstand van het goederenvervoer is. De overige KPI's worden dus niet geoptimaliseerd, maar resulteren uit het optimaliseren van de afstand van het goederenvervoer. De berekeningswijze van bovenstaande KPI's komen aan bod bij de bespreking van de analyses.

6.2 Dataset

De data die in deze masterproef worden gebruikt zijn een subset van de dataset gebruikt in het onderzoek van Ramaekers, Caris, Moons en van Gils (2018). Voor zowel de geclusterde consumenten als de willekeurig verspreide consumenten worden 5 instances geselecteerd. Voor elke instance worden bijkomende instances gegenereerd waarbij de locatie van de consumenten hetzelfde is, maar waar een bepaald percentage van de consumenten wel een tijdsvenster vooropstelt. Dat betekent dat er 5 instances zijn voor geclusterde consumenten waarvan respectievelijk 25%, 50% en 75% gebruikt maakt van een tijdsvenster. Ook voor de willekeurig verspreide consumenten zijn er 5 instances per percentage van de consumenten dat gebruik maakt van een tijdsvenster. In totaal worden dus 25 instances gegenereerd met geclusterde consumenten en 25 instances met willekeurig verspreide consumenten.

Elke instance bestaat uit 100 consumenten waarbij de locatie van de consument wordt voorgesteld door XY-coördinaten. Elke consument heeft een bepaalde bestelgrootte die tussen de 1 en 6 producten ligt. Deze vraag is afgestemd op een e-commerce context waar consumenten steeds frequenter en in kleinere hoeveelheden bestellen (Moktharian, 2004; Visser et al., 2014; Moroz & Polkowski, 2016). De bestelgrootte van de consumenten bedraagt gemiddeld drie pakketten. Indien de consument een tijdsvenster vooropstelt, dan wordt het pakket geleverd binnen een interval van vier uur, namelijk tussen 9.00 uur en 13.00 uur of tussen 13.00 uur en 17.00 uur. De tijdstippen van de tijdsvensters worden bepaald op basis van het onderzoek van Comeos (2018) waaruit blijkt dat de leveringen in België doorgaans tussen 9.00 uur en 17.00 uur plaatsvinden.

Verder wordt voor elke instance een homogene set van vier bestelwagens met elk een capaciteit van 100 pakketjes ter beschikking gesteld. De capaciteit van de bestelwagens is gebaseerd op het onderzoek van Cárdenas et al. (2017). De onderzoekers legden deze capaciteit vast op basis van gegevens van een Belgische logistieke dienstverlener die actief is in e-commerce.

6.3 VRP Spreadsheet Solver

In deze masterproef wordt door middel van de VRP Spreadsheet Solver het *Capacitated Vehicle Routing Problem met Time Windows* (CVRP-TW) geoptimaliseerd. De VRP Spreadsheet Solver is een tool in Excel waarmee verschillende varianten van het *Vehicle Routing Problem* kunnen worden opgelost (Erdogan, 2017). De tool genereert verschillende werkbladen die elk data bevatten over een bepaald element van het VRP. De VRP Spreadsheet Solver stelt een routeplan op waarbij een vooropgestelde doelstelling wordt geoptimaliseerd, rekening houdend met een aantal randvoorwaarden. Op basis van de data uit de werkbladen stelt de Solver voor elk voertuig een lijst op met de volgorde waarin consumentenlocaties bezocht worden. Daarnaast berekent de tool de afstand die elke bestelwagen aflegt en de levertijd waarin de leveringen plaatsvinden (Erdogan, 2017).

In dit onderzoek stelt de Solver een routeplan op waarbij de afstand van het goederenvervoer wordt geminimaliseerd. Het routeplan wordt opgesteld door de locaties waar de pakketten worden geleverd toe te wijzen aan routes en voor elke route de volgorde bepaalt waarin de locaties moeten worden bezocht (Toth & Vigo, 2014). In scenario 1, waar alleen aan huis wordt geleverd, wijst de Solver de consumentenlocaties toe aan routes. In scenario 2 tot en met 4 wijst de Solver voor de consumenten die gebruik maken van een ophaalpunt de locatie van het betreffende ophaalpunt toe aan routes.

Het routeplan moet verder ook voldoen aan de volgende randvoorwaarden. (1) Elke route begint en eindigt aan het depot (gesloten route) en (2) wordt door slechts één voertuig uitgevoerd. (3) Elke consument wordt slecht één keer bezocht en bijgevolg aan slecht één route toegewezen. (4) Verder moet ook aan de volledige vraag van de consumenten worden voldaan. (5) Indien consumenten een tijdsvenster vooropstellen moeten de pakketten geleverd worden tussen de periode die wordt aangegeven door dat tijdsvensters. Voor sommige consumenten vindt de levering plaats tussen 9.00 uur en 13.00 uur en voor andere tussen 13.00 uur en 17.00 uur. De pakketten van de consumenten die geen tijdsvenster vooropstellen worden geleverd tijdens de openingsuren van het distributiecentrum, namelijk tussen 08.00 uur en 17.00 uur. (6) Leveringen die plaatsvinden voor de start of na het einde van het tijdsvenster zijn niet toegestaan. Indien de bestelwagen te vroeg is, zal deze moeten wachten met de levering van het pakket tot de start van het tijdsvenster (Toth & Vigo, 2014). (7) Voor elk routeplan worden vier bestelwagens met elk een capaciteit van 100 pakketten ter beschikking gesteld. De laadcapaciteit van de bestelwagens mag niet worden overschreden. Elke bestelwagen mag dus maximaal 100 pakketten vervoeren. (8) De toegelaten werk- en rijtijden van de bestuurders bedragen maximaal 8 uur per dag (Blauwens, De Baere & Van de Voorde, 2017)

Het CVRP-TW dat wordt toegepast is statisch en deterministisch. De vraag van de consumenten is namelijk op voorhand gekend en verandert niet tijdens de uitvoering van de routes.

6.4 Analyses

De analyses worden in vier fases uitgevoerd. Tabel 5 geeft een overzicht van de analyses die in elke fase worden uitgevoerd en welke parameters en parametersettings worden toegepast. De analyses van fase 1, 2 en 4 worden door middel van de VRP Spreadsheet Solver uitgevoerd. Fase 3 wordt door middel van berekeningen in Excel uitgevoerd.

Tabel 5: Overzicht van analyses en toegepaste parameters per fase

	Geografische spreiding		Scenario				Trip chaining				Tijdsvenster			
	Cluster (Instance 1-5)	Random (Instance 1-5)	S1 (0%)	S2 (25%)	S3 (50%)	S4 (75%)	0%	25%	50%	75%	0%	25%	50%	75%
Fase 1	X	X	X				X				X			
Fase 2	X	X		X	X	X	X				X			
Fase 3	X	X	X	X	X	X		X	X	X				
Fase 4	X	X	X	X	X	X						X	X	X

In de eerste fase worden voor de 5 instances van de geclusterde consumenten en de 5 instances van de willekeurig verspreide consumenten basisscenario's opgesteld. In de basisscenario's worden alle

online bestellingen aan huis geleverd en wordt dus geen gebruik gemaakt van ophaalpunten (scenario 1, 0%). Daarnaast wordt in deze fase niet aan trip chaining gedaan en worden geen tijdsvensters (0%) vooropgesteld door de consumenten.

In de tweede fase worden voor de 5 instances van de geclusterde consumenten en de 5 instances van de willekeurig verspreide consumenten scenario's 2, 3 en 4 opgesteld. In deze scenario's stijgt het percentage van de consumenten dat gebruikt maakt van een ophaalpunt naar respectievelijk 25%, 50% en 75%. Consumenten die gebruik maken van een ophaalpunt worden bij aanvang van de analyses aan een ophaalpunt toegewezen. Deze toewijzing wordt bepaald door de euclidische afstand tussen de consumentenlocaties en de verschillende ophaalpunten te berekenen. De consument wordt vervolgens aan zijn/haar dichtstbijzijnde ophaalpunt toegewezen. Bij de consumenten die gebruik maken van een ophaalpunt worden de XY-coördinaten van de consumentenlocatie veranderd naar de XY-coördinaten van het dichtstbijzijnde ophaalpunt. Ook in deze fase wordt niet aan trip chaining gedaan en worden de tijdsvensters niet toegepast (0%). Op basis van de resultaten uit fase 1 en 2 worden hypothesen 1a, 1b, 2a en 2b getest.

In de derde fase wordt de impact van *trip chaining* toegevoegd. Voor ieder scenario varieert het percentage van de consumenten dat aan trip chaining doet met 25%, 50% en 75%. De afgelegde afstand in het personenvervoer van de consumenten die aan trip chaining doen, wordt in mindering gebracht van de totale afgelegde afstand van het personenvervoer. Deze fase wordt niet berekend door middel van de VRP Spreadsheet Solver.

In de vierde fase wordt ten slotte de toepassing van de tijdsvensters meegenomen in de analyses. Voor elk scenario wordt het percentage van de consumenten dat een tijdsvenster vooropstelt vastgelegd op 25%, 50% en 75%. De consument krijgt zijn/haar online bestelling geleverd binnen een tijdsvenster van vier uur, namelijk tussen 9.00 uur en 13.00 uur of tussen 13.00 en 17.00 uur. Op basis van de resultaten van de eerste, tweede en vierde fase worden hypothesen 3a en 3b getest.

Zoals reeds eerder werd aangehaald worden de verschillende scenario's met elkaar vergeleken op basis van drie KPI's, namelijk de afgelegde afstand van het goederenvervoer en het personenvervoer, de transportkosten van het goederenvervoer en het personenvervoer en de levertijd van het goederenvervoer. De afgelegde afstand van het goederenvervoer wordt geoptimaliseerd door de VRP Spreadsheet Solver. Op basis van de optimalisatie worden de levertijden van de verschillende bestelwagens bepaald door de Solver. De transportkosten van de bestelwagens bestaan enerzijds uit de kost per gereden kilometer en anderzijds uit de loonkost van de bestuurders. Voor een kleine bestelwagen met een laadvermogen van 0,5 ton bedraagt de kost per kilometer 0,22 euro (Blauwens et al., 2017). Het uurloon van de bestuurders bedraagt 25 euro per uur (VIL, 2016). De transportkosten van het goederenvervoer worden dan door middel van de volgende formule berekend:

$$\text{Transportkosten goederenvervoer} = (\text{afgelegde afstand (km)} \times 0,22 \text{ euro}) + (\text{levertijd (uur)} \times 25 \text{ euro})$$

De afgelegde afstand van het personenvervoer wordt bepaald door de euclidische afstand te berekenen tussen de XY-coördinaten van de consument en de XY-coördinaten van het ophaalpunt waarvan de consument gebruik maakt. Aangezien het over een tweerichtingsrit gaat, wordt deze afstand verdubbeld om de totale afstand te berekenen. De transportkosten van het personenvervoer bestaan uit de kost per gereden kilometer, deze bedraagt 0,15 euro per kilometer. Dit tarief werd vastgelegd op basis gegevens van de Federale Overheidsdienst Financiën. De transportkosten van het personenvervoer worden door middel van de volgende formule berekend:

$$\text{Transportkosten personenvervoer} = \\ (\text{afgelegde afstand (km)} \times 0,15 \text{ euro})$$

7 Resultaten

In deze sectie worden de resultaten van de analyses, die het effect van het gebruik van de ophaalpunten bestuderen, besproken. Allereerst wordt het algemene effect van de ophaalpunten met betrekking tot de geclusterde consumenten (in de tabellen 'cluster') en de willekeurig verspreide consumenten (in de tabellen 'random') apart besproken (sectie 7.1). Vervolgens wordt de impact van het concept trip chaining op het effect van de ophaalpunten onderzocht (sectie 7.2). Daarna worden de resultaten van de geclusterde consumenten vergeleken met de resultaten van de willekeurig verspreide consumenten (sectie 7.3). Op deze manier kan worden nagegaan of het effect van de ophaalpunten sterker of zwakker is naargelang de geografische spreiding van de consumenten. Ten slotte worden de resultaten van de analyses die betrekking hebben tot de tijdsvensters besproken (sectie 7.4). De resultaten van deze analyses tonen aan of het effect van de ophaalpunten op het transport sterker of zwakker is wanneer een bepaald percentage van de consumenten een tijdsvenster vooropstelt.

7.1 Het algemene effect van ophaalpunten

Om het algemeen effect van het gebruik van ophaalpunten te bepalen, worden de resultaten van de KPI's van scenario 1 vergeleken met de resultaten van de KPI's van scenario 2, 3 en 4. Het gebruik van de ophaalpunten varieert van 0% tot 25%, 50% en 75%. Door middel van deze vergelijking worden hypothese 1a en 1b getest. Het concept *trip chaining* en het gebruik van de tijdsvensters worden in deze analyses niet in rekening gebracht.

7.1.1 Mobiliteitseffect op goederentransport

Tabel 6, Tabel 7 en Tabel 8 hebben betrekking op de resultaten van respectievelijk de geclusterde consumenten en de willekeurig verspreide consumenten. Beide tabellen tonen de resultaten van het effect van het gebruik van de ophaalpunten op het goederentransport (GT). Meer specifiek tonen deze tabellen het gemiddelde, berekend over alle betreffende instances, van de volgende KPI's: (1) de afgelegde afstand, (2) de levertijd en (3) de transportkosten. Daarnaast geven de tabellen ook de gemiddelde procentuele verandering van de KPI's weer van scenario 1 naar scenario 2, 3 en 4. Tabel 7 en Tabel 9 geven de gemiddelde absolute afwijkingen, de minimale en de maximale procentuele verandering van de afstand van het goederentransport voor respectievelijk de geclusterde consumenten en de willekeurig verspreide consumenten.

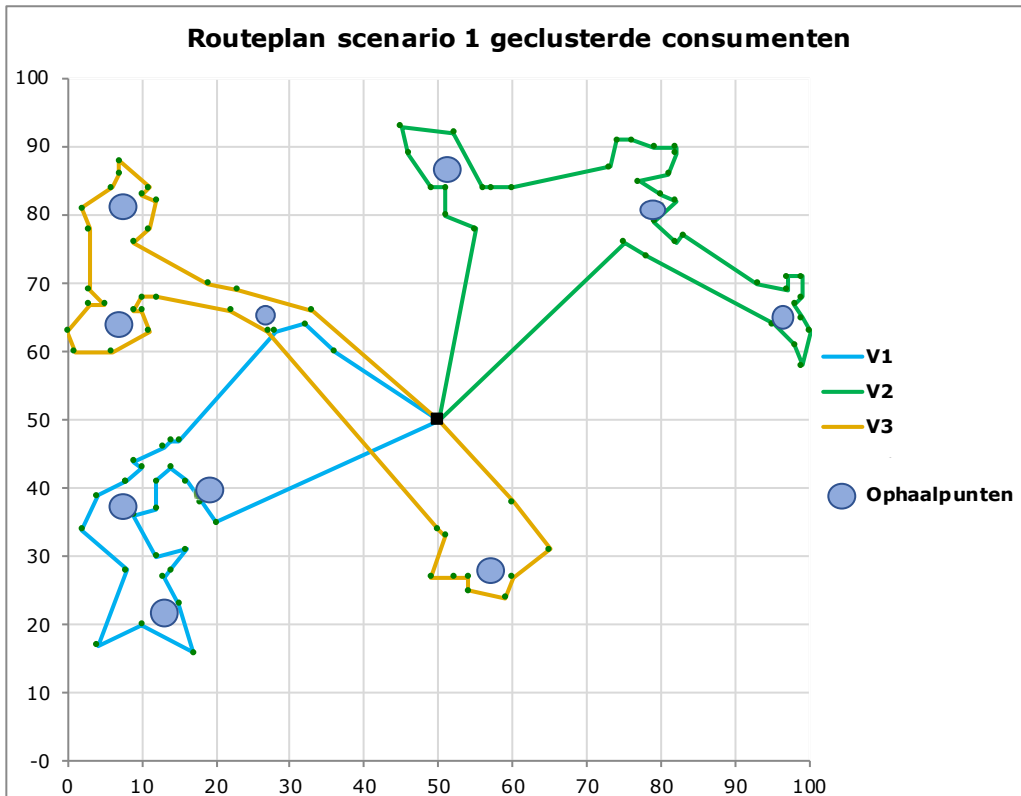
Op basis van de resultaten van de geclusterde consumenten kan worden vastgesteld dat het gebruik van ophaalpunten tegenover de thuisbezorging over alle instances heen een daling van de afgelegde afstand in het goederentransport teweegbrengt (Tabel 6). Indien de pakketten van alle consument aan huis worden geleverd (scenario 1), bedraagt de gemiddelde afstand 667,09 kilometer. Wanneer 25% van de consumenten een ophaalpunt gebruikt daalt de afstand naar gemiddeld 633,35 kilometer. Ook in scenario 3 en 4 is de gemiddelde afstand gedaald ten opzichte van scenario 1. Voor alle instances wordt de daling van het goederentransport zelfs groter naarmate het percentage van de consumenten dat gebruik maakt van een ophaalpunt toeneemt. Zo daalt de afgelegde afstand

met gemiddeld 5,20% wanneer 25% van de consumenten gebruik maakt van een ophaalpunt. Indien 75% van de consumenten gebruik maakt van een ophaalpunt daalt de afgelegde afstand ten opzichte van scenario 1 zelfs tot gemiddeld 22,65%. De daling van het goederentransport door het gebruik van ophaalpunten komt ook in de visualisatie van de routeplannen naar voren. Figuur 20 en Figuur 21 visualiseren de routeplannen van respectievelijk scenario 1 en scenario 4 (instance 2). De leveringen worden in beide scenario's gerealiseerd door drie bestelwagens (V1, V2 en V3). In scenario 1 worden alle pakketten aan huis geleverd en wordt geen gebruik gemaakt van ophaalpunten (Figuur 20). In scenario 4 maakt 75% van de consumenten gebruik van een ophaalpunt (Figuur 21).

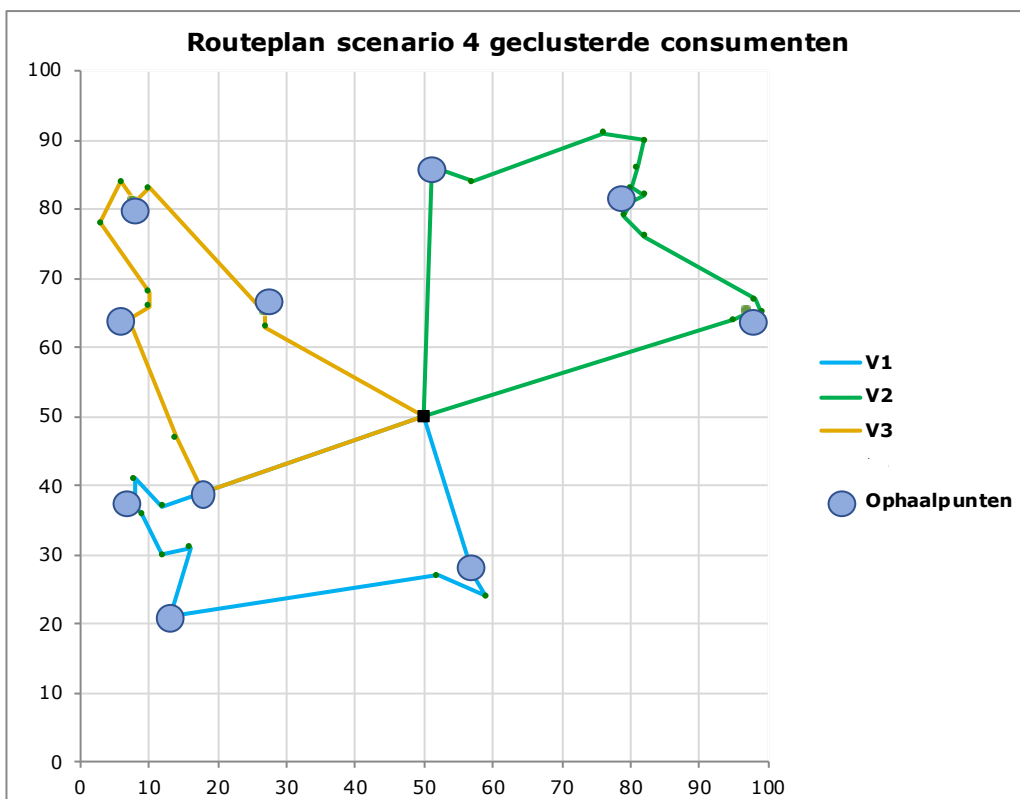
Verder resulteert het gebruik van ophaalpunten in vergelijking met de thuisbezorging in een snellere levertijd. De bestelwagens leveren de pakketten van alle consumenten aan huis in gemiddeld 9 uur en 36 minuten (scenario 1). Wanneer 75% van de consumenten gebruik maakt van een ophaalpunt daalt de levertijd tot gemiddeld 7 uur en 23 minuten (scenario 4). De daling van de levertijd wordt ook groter naarmate meer consumenten een ophaalpunt gebruiken. Indien 25% van de consumenten een ophaalpunt gebruikt daalt de levertijd ten opzichte van scenario 1 met gemiddeld 5,50% (scenario 2). De levertijd daalt met gemiddeld 23,20% wanneer 75% van de consumenten hun pakket(ten) aan een ophaalpunt afhalen (scenario 4). Aangezien de transportkosten afhankelijk zijn van de afgelegde afstand en de levertijd, leidt een daling van deze KPI's ook tot een daling van de totale transportkosten van het goederentransport. Voor het scenario waarbij 25% van de consumenten een pakket aan een ophaalpunt laat leveren, bedraagt de gemiddelde daling 5,38% (scenario 2). Indien 75% van de consumenten een ophaalpunt gebruikt dalen de transportkosten met gemiddeld 22,99% (scenario 4).

Tabel 6: Resultaten van het effect van ophaalpunten op het goederentransport voor geclusterde consumenten

	CLUSTER (GT)	Afstand (km)	Verandering afstand (%)	Levertijd	Verandering levertijd (%)	Transportkosten	Verandering transportkosten (%)
Gemiddelde	S1	667,09		09u36		€ 386,84	
	S2	633,35	-5,20%	09u05	-5,50%	€ 366,59	-5,38%
	S3	578,37	-13,13%	08u17	-13,56%	€ 334,41	-13,40%
	S4	517,11	-22,65%	07u23	-23,20%	€ 298,60	-22,99%



Figuur 20: Routeplan scenario 1 geclusterde consumenten (instance 2)



Figuur 21: Routeplan scenario 4 geclusterde consumenten (instance 2)

Tabel 7 toont de gemiddelde absolute afwijkingen, het minimum en het maximum van de procentuele veranderingen van de afstand van het goederenvervoer voor de geclusterde consumenten. Op basis van de gemiddelde absolute afwijkingen kan afgeleid worden in welke mate de besparing in de afstand van de individuele instances afwijkt ten opzichte van de gemiddelde besparing berekend over alle instances. Uit de resultaten blijkt dat de afwijkingen in het algemeen relatief klein zijn. Zo wijken de procentuele besparingen van scenario 1 naar scenario 2 van de individuele instances met gemiddeld 1,97%-punt af van de gemiddelde besparing van 5,20% (Tabel 6) over alle instances. De relatief kleine afwijkingen worden ook door middel van de minimale en maximale procentuele veranderingen van de afstand bevestigd. Deze waarden verschillen namelijk niet sterk van de gemiddelde waarden. Zo bedragen de minimale en maximale dalingen van scenario 1 naar 2 respectievelijk 2,46% en 8,87%. Deze waarden wijken niet sterk af van de gemiddelde procentuele besparing van 5,20%. De bovenstaande vaststellingen duiden aan dat de procentuele veranderingen zich rondom de gemiddelde waarden bevinden en niet veel spreiding vertonen.

Tabel 7: Resultaten van de afwijking van de procentuele veranderingen van het goederentransport voor geclusterde consumenten

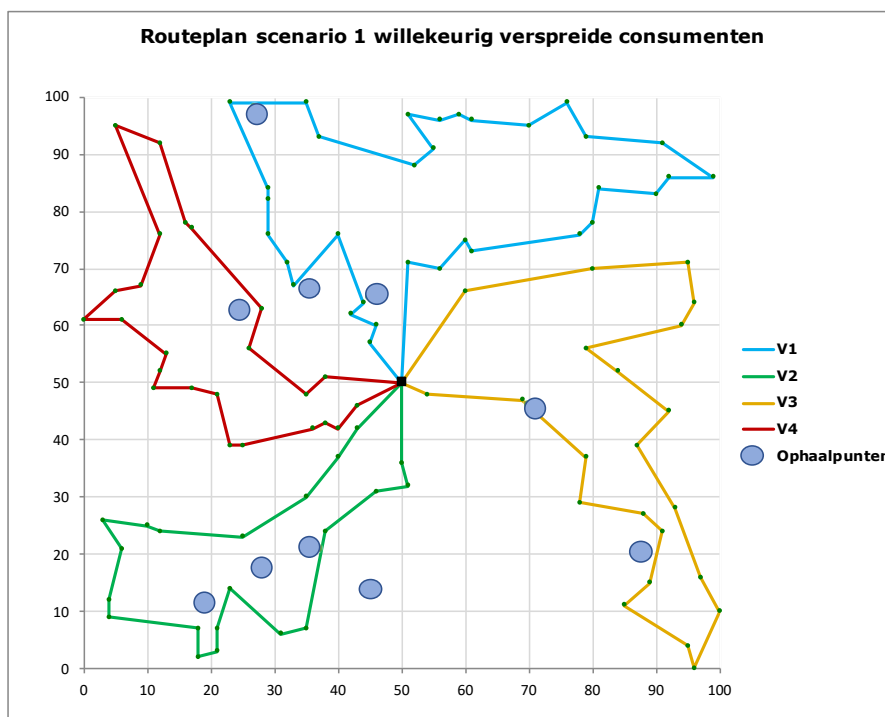
	CLUSTER (GT)	Gemiddelde absolute afwijking	Minimum	Maximum
Verandering afstand (%)	S1			
	S2	1,97%	-2,46%	-8,87%
	S3	3,05%	-11,28%	-16,85%
	S4	2,89%	-16,48%	-28,41%

Tabel 8 vat de resultaten van het effect van de ophaalpunten op het goederentransport voor de willekeurig verspreide consumenten samen. Het gebruik van de ophaalpunten leidt tot een daling van de afgelegde afstand en dit over alle instances heen. Zo bedraagt de gemiddelde afstand 900,28 kilometer wanneer de pakketten door middel van thuisbezorging aan alle consumenten worden geleverd (scenario 1). Indien 25% van de consumenten een ophaalpunt gebruikt daalt de afstand tot gemiddeld 808,19 kilometer (scenario 2). Ook in scenario 3 en 4 daalt de gemiddelde afstand ten opzichte van scenario 1. Daarnaast neemt de daling van de afgelegde afstand toe naargelang het gebruik van de ophaalpunten toeneemt. Wanneer 25% van de consumenten gebruikt maakt van een ophaalpunt daalt de afgelegde afstand met gemiddeld 10,03%. Een stijging tot 75% van de consumenten die een ophaalpunt gebruiken levert een daling ten opzichte van scenario 1 van gemiddeld 33,08% op. Ook uit de visualisaties van de routeplannen wordt duidelijk dat de ophaalpunten resulteren in een daling van het goederentransport. Figuur 22 en Figuur 23 visualiseren de routeplannen van respectievelijk scenario 1 en scenario 4 van de willekeurig verspreide consumenten (instance 1). De leveringen worden in beide scenario's gerealiseerd door vier bestelwagens (V1, V2, V3 en V4). In scenario 1 worden alle pakketten aan huis geleverd en wordt geen gebruik gemaakt van ophaalpunten (Figuur 22). In scenario 4 maakt 75% van de consumenten gebruik van een ophaalpunt (Figuur 23).

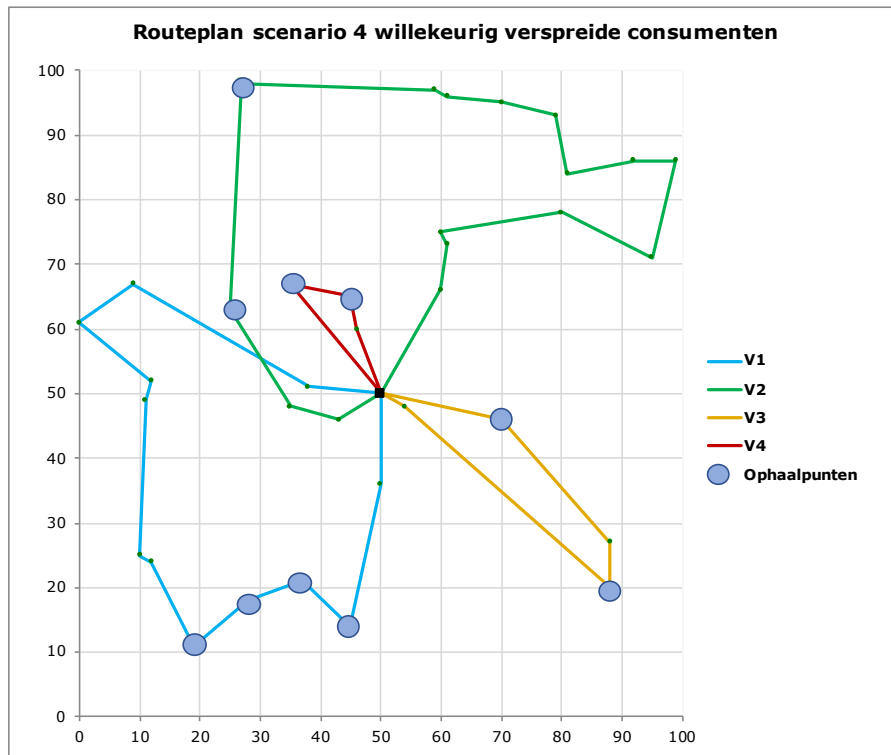
Bovendien leiden de ophaalpunten ook bij de willekeurig verspreide consumenten (over alle instances) tot een snellere levertijd. Wanneer alle pakketten aan huis worden geleverd, bedraagt de levertijd gemiddeld 12 uur en 53 minuten (scenario 1). Door middel van leveringen aan ophaalpunten daalt deze tijd tot 8 uur en 35 minuten (scenario 4). De daling van de levertijd neemt toe naarmate meer consumenten gebruik maken van een ophaalpunt. Zo daalt de levertijd met gemiddeld 9,98% wanneer 25% van de consumenten een ophaalpunt gebruikt (scenario 2). Indien 75% van de consumenten een ophaalpunt gebruikt bedraagt de gemiddelde daling 33,35% (scenario 4). De daling van de levertijd en daling van de afgelegde afstand resulteren op hun beurt tot een daling van de transportkosten. Zo dalen de transportkosten met gemiddeld 10% wanneer 25% van de consumenten een ophaalpunt gebruikt (scenario 2). De kosten dalen ten opzichte van scenario 1 zelfs tot een gemiddelde van 33,25% wanneer de levering van 75% van de consumenten plaatsvindt bij een ophaalpunt.

Tabel 8: Resultaten van het effect van ophaalpunten op het goederentransport voor willekeurig verspreide consumenten

	RANDOM (GT)	Afstand (km)	Verandering afstand (%)	Levertijd	Verandering levertijd (%)	Transportkosten	Verandering transportkosten (%)
Gemiddelde	S1	900,28		12u53		€ 520,23	
	S2	808,19	-10,03%	11u34	-9,98%	€ 467,13	-10,00%
	S3	708,45	-21,22%	10u30	-18,30%	€ 408,61	-21,36%
	S4	602,26	-33,08%	08u35	-33,35%	€ 347,16	-33,25%



Figuur 22: Routeplan scenario 1 willekeurig verspreide consumenten (instance 4)



Figuur 23: Routeplan scenario 4 willekeurig verspreide consumenten (instance 4)

Tabel 9 geeft de gemiddelde absolute afwijking, de minimale en maximale procentuele verandering van de afstand van het goederentransport voor de willekeurig verspreide consumenten weer. Ook voor deze consumenten kan vastgesteld worden dat de variaties van de individuele instances ten opzichte van het gemiddelde relatief klein zijn. De procentuele besparingen van de individuele instances van scenario 1 naar scenario 2 wijken met gemiddeld 4,51%-punt af van de gemiddelde besparing van 10,03% (Tabel 8) over alle instances heen. De minimale en maximale procentuele veranderingen verschillen niet sterk van het de gemiddelde procentuele veranderingen van de afstand. Van scenario 1 naar 2 bedragen de minimale en maximale dalingen respectievelijk 5,21% en 15,81%. Dit wijkt niet sterkt af van de gemiddelde daling van 10,03%. Opnieuw duiden de bovenstaande vaststellingen aan dat de procentuele veranderingen zich rondom de gemiddelde veranderingen bevinden en niet veel spreiding vertonen.

Tabel 9: Resultaten van de afwijking van de procentuele veranderingen van het goederentransport voor willekeurig verspreide consumenten

	RANDOM (GT)	Gemiddelde absolute afwijking	Minimum	Maximum
Verandering afstand (%)	S1			
	S2	4,51%	-5,21%	-15,81%
	S3	3,52%	-16,72%	-25,35%
	S4	2,20%	-30,31%	-37,02%

Hypothese 1a wordt door bovenstaande resultaten en de visualisaties van de routeplannen bevestigd. Het gebruik van ophaalpunten brengt namelijk een daling van het goederentransport teweeg in termen van de afgelegde afstand.

7.1.2 Mobiliteitseffect personentransport

Tabel 10 en Tabel 11 tonen de resultaten van het effect van ophaalpunten op het personentransport (PT) voor de geclusterde consumenten (Tabel 10) en de willekeurig verspreide consumenten (Tabel 11). De tabellen tonen voor elk scenario het gemiddelde, berekend over alle instances, van de volgende KPI's: (1) de afgelegde afstand en (2) de transportkosten. Verder tonen ze de procentuele verandering van de afgelegde afstand en de transportkosten ten opzichte van het voorgaande scenario.

Het gebruik van ophaalpunten veroorzaakt (over alle instances heen) een stijging van de afgelegde afstand van het personentransport. Daarnaast neemt de afstand ook toe naarmate meer consumenten gebruik maken van ophaalpunten. Indien er geen ophaalpunten gebruikt worden (scenario 1), is er geen personentransport vereist. Wanneer het gebruik toeneemt tot 25% (scenario 2) leggen consumenten gemiddeld 318,50 kilometer af om de pakketten op te halen. Deze afstand neemt toe tot gemiddeld 870,33 kilometer wanneer 75% gebruik maakt van een ophaalpunt. Aangezien de transportkosten afhankelijk zijn van de afstand, stijgen deze kosten ook naarmate meer consumenten hun pakketten aan een ophaalpunt afhalen. Indien 25% van de consumenten een ophaalpunt gebruikt, bedragen de transportkosten gemiddeld 47,77 euro. Deze kost loopt op tot gemiddeld 130,55 euro wanneer 75% van de consumenten naar een ophaalpunt gaat om een pakket op te halen.

Tabel 10: Resultaten van het effect van ophaalpunten op het personentransport voor geclusterde consumenten

	CLUSTER (PT)	Afstand (km)	Verandering afstand (%)	Transportkosten	Verandering transportkosten (%)
Gemiddelde	S1	0,00		€ -	
	S2	318,50		€ 47,77	
	S3	591,43	85,69%	€ 88,71	85,69%
	S4	870,33	47,16%	€ 130,55	47,16%

Voor de data met de willekeurig verspreide consumenten worden dezelfde effecten teruggevonden. De afgelegde afstand van het personentransport stijgt door het gebruik van ophaalpunten (Tabel 11). De afgelegde afstand neemt verder ook toe wanneer het percentage van de consumenten dat gebruikt maakt van een ophaalpunt toeneemt. Indien alle pakketten aan huis worden geleverd is er geen personentransport (scenario 1). Wanneer 25% van de consumenten gebruikt maakt van een ophaalpunt neemt de afgelegde afstand toe tot gemiddeld 871,17 kilometer (scenario 2). Indien het gebruik stijgt tot 75% stijgt de afstand tot gemiddeld 2257,92 kilometer (scenario 4). Door de toename van de afgelegde afstand in het personentransport nemen ook de transportkosten van het

personentransport toe. Indien 25% van de consumenten een pakket aan een ophaalpunt ophaalt dan bedraagt de gemiddelde transportkost 130,68 euro (scenario 2). Wanneer het gebruik verhoogt tot 75% stijgen de transportkosten tot gemiddeld 338,69 euro (scenario 4).

Tabel 11: Resultaten van het effect van ophaalpunten op het personentransport voor willekeurig verspreide consumenten

	RANDOM (GT)	Afstand (km)	Verandering afstand (%)	Transportkosten	Verandering transportkosten (%)
Gemiddelde	S1	0,00		€ -	
	S2	871,17		€ 130,68	
	S3	1538,65	76,62%	€ 230,80	76,62%
	S4	2257,92	46,75%	€ 338,69	46,75%

Door middel van bovenstaande resultaten kan hypothese 1b worden bevestigd. Het gebruik van ophaalpunten leidt, in deze analyses, namelijk tot een stijging van het personentransport.

De resultaten uit Tabel 10 en Tabel 11 worden berekend zonder rekening te houden met het concept *trip chaining*. Consumenten linken het ophalen van een pakket aan een ophaalpunt niet met andere activiteiten waardoor de trip naar het ophaalpunt in een bijkomende afstand van het personentransport resulteert. Om toch een indicatie te geven van de impact van het concept *trip chaining* op het personentransport, wordt de impact van dit concept in sectie 7.2 besproken.

7.1.3 Netto mobiliteitseffect

Tabel 12 en Tabel 13 geven het totale mobiliteitseffect van de ophaalpunten voor respectievelijk de geclusterde consumenten en de willekeurig verspreide consumenten weer. In de tabellen wordt het gemiddelde, berekend over alle instances, van de volgende KPI's weergegeven: (1) de totale afstand en (2) de totale transportkosten. Daarnaast tonen de tabellen het nettoresultaat van de afgelegde afstand en de procentuele verandering van scenario 1 naar scenario 2, 3 en 4 van zowel de afgelegde afstand als de transportkosten.

Voor de geclusterde consumenten werd reeds vastgesteld dat de afgelegde afstand in het goederentransport daalt. In tegenstelling tot de daling in het goederentransport werd een stijging van de afgelegde afstand vastgesteld in het personentransport. De stijging van het personenvervoer wordt echter niet gecompenseerd door de daling in het goederentransport. Dit levert een negatieve netto mobiliteit op (Tabel 12). Zo daalt de afgelegde afstand van het goederentransport van scenario 1 naar scenario 2 met gemiddeld 33,73 kilometer. De afgelegde afstand van het personentransport stijgt daarentegen met gemiddeld 318,50 kilometer. Dit leidt tot een netto mobiliteit van gemiddeld 284,77 kilometer (Tabel 12). Verder stijgt de totale afstand naarmate meer consumenten gebruik maken van een ophaalpunt. Zo stijgt de afstand van scenario 1 naar 2 met 43,09%. De totale afstand stijgt met 108,82% wanneer 75% van de consumenten gebruikt maakt van een ophaalpunt. Ten slotte stijgen ook de totale transportkosten door het gebruik van ophaalpunten. Indien 25% van de

consumenten gebruik maakt van een ophaalpunt stijgen de totale transportkosten gemiddeld met 7,10%. De stijging van de transportkosten bedraagt gemiddeld 11,01% wanneer 75% van de consumenten gebruik maakt van een ophaalpunt.

Tabel 12: Resultaten van het effect van ophaalpunten op het totale transport voor geclusterde consumenten

	CLUSTER (GT en PT)	Totale afstand (km)	Netto totale afstand (km)	Verandering afstand (%)	Totale transportkosten	Verandering transportkosten (%)
Gemiddelde	S1	667,09			€ 386,84	
	S2	951,85	284,77	43,09%	€ 414,36	7,10%
	S3	1.169,80	502,71	76,30%	€ 423,12	9,73%
	S4	1.387,45	720,36	108,82%	€ 429,15	11,01%

Ook voor de willekeurig verspreide consumenten werd aangetoond dat de afgelegde afstand van het goederentransport daalt. In Tabel 11 werd voor het personenvervoer een stijging vastgesteld van de afgelegde afstand. Ook bij de willekeurig verspreide consumenten wordt de stijging van het personenvervoer niet gecompenseerd door het goederentransport. Deze combinatie resulteert in een negatieve netto mobiliteit. Zo wordt de stijging van gemiddeld 871,17 kilometer in het personenvervoer van scenario 1 naar 2 niet gecompenseerd door de daling van gemiddeld 92,09 kilometer in het goederentransport. Dit resulteert in een negatieve netto mobiliteit van 779,08 kilometer (Tabel 13). Net zoals bij de geclusterde consumenten neemt de totale afstand ook bij de willekeurig verspreide consumenten toe naarmate meer consumenten gebruik maken van een ophaalpunt. Zo bedraagt de stijging van de totale afstand van scenario 1 naar 2 gemiddeld 86,70%. De afstand neemt sterk toe van scenario 1 naar 4, de stijging bedraagt namelijk 217,96%. Verder nemen ook de totale transportkosten toe door het gebruik van de ophaalpunten. Zo stijgen de kosten met gemiddeld 19% wanneer 25% van de consumenten zijn/haar pakket aan een ophaalpunt afhaalt. Indien 75% een ophaalpunt gebruikt bedraagt de stijging gemiddeld 31,93%.

Tabel 13: Resultaten van het effect van ophaalpunten op het totale transport voor willekeurig verspreide consumenten

	RANDOM (GT en PT)	Totale afstand (km)	Netto totale afstand (km)	Verandering afstand (%)	Totale transportkosten	Verandering transportkosten (%)
Gemiddelde	S1	900,28			€ 520,23	
	S2	1.679,36	779,08	86,70%	€ 597,81	15,11%
	S3	2.247,11	1.346,82	149,72%	€ 639,41	23,02%
	S4	2.860,18	1.959,90	217,96%	€ 685,85	31,93%

Uit Tabel 12 en Tabel 13 valt op dat de netto afstand aanzienlijk toeneemt. Ook dit kan verklaard worden door het feit dat in deze fase van het onderzoek geen rekening wordt gehouden met het concept *trip chaining*. Consumenten linken in deze fase het ophalen van een pakket aan een ophaalpunt niet met andere activiteiten waardoor de trip naar het ophaalpunt in een bijkomende afstand van het personenvervoer resulteert. Indien een bepaald percentage van de consumenten aan *trip chaining* doet, zal de stijging van de afgelegde afstand in het personenvervoer lager zijn dan wanneer er niet aan *trip chaining* wordt gedaan. Hierdoor zal ook de stijging van de netto afstand kleiner zijn. Het effect van *trip chaining* op de netto mobiliteit wordt ook in sectie 7.2 toegelicht.

7.2 Het effect van ophaalpunten: trip chaining

In de literatuurstudie werd het concept *trip chaining* reeds aangehaald. Consumenten linken mogelijk het ophalen van hun pakket aan een andere activiteit (Golob & Regan, 2001; Visser & Lanzendorf, 2003; Mokhtarian, 2004; Weltevreden & Rotem-Mindali, 2009; Rotem-Mindali & Weltevreden, 2013). De resultaten uit sectie 7.1 worden berekend zonder rekening te houden met het feit dat de trip naar het ophaalpunt deel kan uitmaken van een geketende trip. In deze sectie wordt de impact van *trip chaining* op het personenvervoer en de netto mobiliteit bestudeerd. Het percentage van de consumenten dat aan *trip chaining* doet varieert met 25%, 50% en 75%.

7.2.1 Mobiliteitseffect personenvervoer

Tabel 14 en Tabel 15 tonen de resultaten van het effect van de ophaalpunten op het personenvervoer wanneer een bepaald percentage van de consumenten aan *trip chaining* (TC) doet. Dit percentage bedraagt 25%, 50% of 75%. De tabel toont de gemiddelde afstand en de gemiddelde transportkosten, berekend over alle instances, voor verschillende percentages van de consumenten die aan *trip chaining* doen. Daarnaast worden ook de procentuele veranderingen van de afstand en de transportkosten weergegeven. Deze percentages geven de verandering weer van de resultaten waarbij geen enkele consument aan *trip chaining* doet naar de resultaten waarbij 25%, 50% of 75% aan *trip chaining* doet.

Uit de resultaten van Tabel 14 blijkt dat de reeds waargenomen stijging van de afstand van het personenvervoer van de geclusterde consumenten, dat door het gebruik van de ophaalpunten werd teweeggebracht, daalt wanneer consumenten het ophalen van een pakket aan een ophaalpunt linken aan andere activiteiten. Zo daalt bijvoorbeeld de gemiddelde afstand van scenario 2 naarmate meer consumenten aan *trip chaining* doen. Wanneer geen enkele consument aan *trip chaining* (TC 0%) doet, wordt gemiddeld 318,50 kilometer afgelegd om de pakketten op te halen. Indien dat percentage toeneemt naar 25% en 75%, dan daalt de gemiddelde afstand naar respectievelijk 232,73 kilometer en 79,25 kilometer. Hetzelfde effect kan worden teruggevonden bij de transportkosten. Deze dalen namelijk voor een gegeven scenario naarmate meer consumenten aan *trip chaining* doen. De transportkosten van scenario 2 dalen bijvoorbeeld wanneer consumenten aan *trip chaining* doen. Indien niet aan *trip chaining* wordt gedaan, bedraagt de gemiddelde transportkost 47,77 euro. Bij een toename van het percentage van de consumenten dat aan *trip chaining* doet naar bijvoorbeeld 75% van de consumenten bedraagt deze kost slechts 11,89 euro.

Tabel 14: Resultaten van het effect van ophaalpunten op het personentransport voor verschillende niveaus van *trip chaining* voor geclusterde consumenten

		CLUSTER (PT)	Afstand (km)	Verandering afstand (%)	Transportkosten	Verandering transportkosten (%)
Gemiddelde	S1	TC 0%	0,00		€ -	
		TC 25%	0,00		€ -	
		TC 50%	0,00		€ -	
		TC 75%	0,00		€ -	
	S2	TC 0%	318,50		€ 47,77	
		TC 25%	232,73	-26,84%	€ 34,91	-26,84%
		TC 50%	149,08	-53,21%	€ 22,36	-53,21%
		TC 75%	79,25	-75,24%	€ 11,89	-75,24%
	S3	TC 0%	591,43		€ 88,71	
		TC 25%	441,44	-25,22%	€ 66,22	-25,22%
		TC 50%	316,65	-46,46%	€ 47,50	-46,46%
		TC 75%	150,99	-74,49%	€ 22,65	-74,49%
	S4	TC 0%	870,33		€ 130,55	
		TC 25%	644,80	-25,81%	€ 96,72	-25,81%
		TC 50%	451,74	-48,09%	€ 67,76	-48,09%
		TC 75%	219,67	-74,79%	€ 32,95	-74,79%

Uit Tabel 15 komt naar voren dat de reeds waargenomen stijging van de afstand van het personentransport voor de willekeurig verspreide consumenten, veroorzaakt door de ophaalpunten, voor éénzelfde scenario daalt wanneer consumenten aan *trip chaining* doen. Ze bedraagt de gemiddelde afstand in scenario 2 zonder dat consumenten activiteiten linken 871,17 kilometer. Wanneer 25% en 75% van de consumenten aan *trip chaining* doen, daalt de gemiddelde afstand tot respectievelijk 656,26 kilometer en 263,05 kilometer. Ook de gemiddelde transportkosten dalen voor een gegeven scenario indien consumenten aan *trip chaining* doen. Wanneer de consumenten niet aan *trip chaining* doen bedragen de transportkosten voor scenario 2 gemiddeld 130,68 euro. Deze dalen tot gemiddeld 99,59 euro en 41,63 euro wanneer respectievelijk 25% en 50% van de consumenten het ophalen van hun pakket linken aan andere activiteiten.

Tabel 15: Resultaten van het effect van ophaalpunten op het personentransport voor verschillende niveaus van trip chaining voor willekeurig verspreide consumenten

		RANDOM (PT)	Afstand (km)	Verandering afstand (%)	Transportkosten	Verandering transportkosten (%)
Gemiddelde	S1	TC 0%	0,00		€ -	
		TC 25%	0,00		€ -	
		TC 50%	0,00		€ -	
		TC 75%	0,00		€ -	
	S2	TC 0%	871,17		130,68	
		TC 25%	656,26	-24,66%	99,59	-23,70%
		TC 50%	471,09	-45,89%	74,29	-42,87%
		TC 75%	263,05	-69,87%	41,63	-68,06%
	S3	TC 0%	1538,66		230,80	
		TC 25%	1170,41	-24,09%	175,56	-24,09%
		TC 50%	823,59	-46,69%	123,54	-46,69%
		TC 75%	467,52	-69,78%	70,13	-69,78%
	S4	TC 0%	2257,92		338,69	
		TC 25%	1724,01	-23,82%	258,60	-23,82%
		TC 50%	1213,30	-46,43%	182,00	-46,43%
		TC 75%	695,58	-69,35%	104,34	-69,35%

7.2.2 Netto mobiliteitseffect

Error! Reference source not found. en Tabel 17 geven het totale mobiliteitseffect van de ophaalpunten weer voor verschillende variaties van het percentage van de consumenten dat een trip chaining doet. **Error! Reference source not found.** heeft betrekking op de resultaten van de geclusterde consumenten en Tabel 17 op die van de willekeurig verspreide consumenten. De tabellen tonen het gemiddelde, berekend over alle instances, van de volgende KPI's weer: (1) de totale afstand en (2) de totale transportkosten. Daarnaast tonen de tabellen het nettoresultaat van de afgelegde afstand en de procentuele verandering van scenario 1 naar scenario 2, 3 en 4 van zowel de afgelegde afstand als de transportkosten.

De resultaten van **Error! Reference source not found.** tonen aan dat indien consumenten aan *trip chaining* doen de totale afstand nog steeds toeneemt naarmate meer consumenten gebruik maken van een ophaalpunt. De stijging is echter minder sterk indien consumenten het ophalen van hun pakket aan een ophaalpunt linken aan andere activiteiten. Zo stijgt de totale afstand van scenario 1 naar scenario 2 met gemiddeld 30,07% indien 25% van de consumenten aan *trip chaining* doet. Wanneer 75% van de consumenten aan *trip chaining* doet is de stijging van de totale afstand minder sterk, deze bedraagt dan gemiddeld 6,85%. Ook de toename van de transportkosten stijgt minder sterk naarmate meer consumenten aan *trip chaining* doen. Indien 25% van de consumenten aan *trip chaining* doet, dan stijgen de totale transportkosten van scenario 1 naar scenario 2 met gemiddeld 3,74%. Naarmate 75% van de consumenten het ophalen van hun pakket linken aan andere activiteiten stijgen de kosten met slechts 0,47%.

Tabel 16: Netto mobiliteitseffect van ophaalpunten voor verschillende niveaus van trip chaining voor geclusterde consumenten

	CLUSTER (GT en PT)	Totale afstand (km)	Netto totale afstand (km)	Verandering afstand (%)	Totale transportkosten	Verandering transportkosten (%)
Gemiddelde TC 25%	S1	667,09			€ 386,84	
	S2	866,08	199,00	30,07%	€ 401,50	3,74%
	S3	1.019,80	352,72	53,49%	€ 400,62	3,83%
	S4	1.161,91	494,83	74,64%	€ 395,32	2,17%
Gemiddelde TC 50%	S1	667,09			€ 386,84	
	S2	782,44	115,35	17,45%	€ 388,95	0,47%
	S3	895,02	227,93	34,32%	€ 381,91	-1,12%
	S4	968,86	301,77	45,14%	€ 366,36	-5,46%
Gemiddelde TC 75%	S1	667,09			€ 386,84	
	S2	712,61	45,52	6,85%	€ 378,48	-2,27%
	S3	729,36	62,27	9,78%	€ 357,06	-7,47%
	S4	736,78	69,70	10,54%	€ 331,55	-14,41%

Voor de willekeurig verspreide consumenten werden dezelfde effecten teruggevonden. Op basis van Tabel 17 wordt vastgesteld dat de totale afstand nog steeds toeneemt naarmate meer consumenten gebruik maken van een ophaalpunt. De totale afstand stijgt echter minder sterk naarmate meer consumenten het ophalen van hun pakket aan een ophaalpunt linken met andere activiteiten. Verder stijging de transportkosten ook minder sterk naarmate meer consumenten aan *trip chaining* doen.

Tabel 17: Netto mobiliteitseffect van ophaalpunten voor verschillende niveaus van trip chaining voor willekeurig verspreide consumenten

	RANDOM (GT en PT)	Totale afstand (km)	Netto totale afstand (km)	Verandering afstand (%)	Totale transportkosten	Verandering transportkosten (%)
Gemiddelde TC 25%	S1	900,28			€ 520,23	
	S2	1.464,44	564,16	62,85%	€ 566,72	9,15%
	S3	1.878,87	978,58	108,76%	€ 584,17	12,39%
	S4	2.326,27	1.425,98	158,61%	€ 605,76	16,52%
Gemiddelde TC 50%	S1	900,28			€ 520,23	
	S2	1.310,79	410,51	45,86%	€ 546,15	5,24%
	S3	1.599,08	698,80	77,83%	€ 542,20	4,35%
	S4	1.909,95	1.009,66	112,46%	€ 543,32	4,53%
Gemiddelde TC 75%	S1	900,28			€ 520,23	
	S2	1.071,24	170,96	19,20%	€ 508,77	-1,97%
	S3	1.175,97	275,69	30,72%	€ 478,74	-7,87%
	S4	1.297,84	397,56	44,38%	€ 451,50	-13,13%

7.3 Het effect van ophaalpunten: geclusterde consumenten versus willekeurig verspreide consumenten

Om na te gaan of het effect van de ophaalpunten sterker of zwakker is naarmate de locaties van de consumenten geclusterd zijn of eerder willekeurig verspreid zijn, worden de resultaten van de geclusterde consumenten vergeleken met de resultaten van de willekeurig verspreide consumenten. Op deze manier kunnen hypothesen 2a en 2b getest worden.

7.3.1 Mobiliteitseffect goederentransport

Het effect van de ophaalpunten op het goederentransport voor enerzijds de geclusterde consumenten en anderzijds de willekeurig verspreide consumenten wordt op basis van Tabel 6 en Tabel 8 met elkaar vergeleken.

Om de algemene verschillen tussen de geclusterde consumenten en willekeurig verspreide consumenten te beschrijven, worden de KPI's van scenario 1 van beide geografische spreidingen met elkaar vergeleken. In het algemeen kan worden vastgesteld dat de bestelwagens gemiddeld meer kilometers afleggen indien consumenten willekeurig verspreid zijn. Zo wordt voor de leveringen aan geclusterde consumenten gemiddeld 667,09 kilometer afgelegd om de pakketten aan huis te bezorgen (scenario 1). Voor de thuisbezorging aan de willekeurig verspreide consumenten wordt gemiddeld 900,28 kilometer afgelegd (scenario 1). Verder is ook de gemiddelde levertijd groter bij de willekeurig verspreide consumenten. Indien de locaties van de consumenten geclusterd zijn, worden de pakketten in gemiddeld 9 uur en 36 minuten aan huis geleverd. Wanneer consumenten willekeurig verspreid zijn bedraagt de gemiddelde levertijd 12 uur en 53 minuten. Doordat zowel de afstand als de levertijd groter zijn indien consumenten willekeurig verspreid zijn, zijn de transportkosten bijgevolg ook groter bij willekeurig verspreide consumenten. Zo bedragen de gemiddelde transportkosten 386,84 euro en 520,23 euro indien de pakketten door middel van thuisbezorging aan respectievelijk de geclusterde consumenten en de willekeurig verspreide consumenten worden geleverd.

Uit Tabel 6 en Tabel 8 wordt duidelijk dat de daling van de afstand, die door het gebruik van ophaalpunten wordt teweeggebracht, voor éénzelfde scenario sterker is wanneer consumenten willekeurig verspreid zijn. Zo daalt voor de geclusterde consumenten de afstand van scenario 1 naar scenario 2 met gemiddeld 5,20%. Indien consumenten willekeurig verspreid zijn, is de daling van scenario 1 naar 2 groter, namelijk 10,03%. De daling van de afstand van het goederentransport is groter wanneer willekeurige verspreide consumenten worden toegewezen aan een ophaalpunt. De afstand tussen verspreide consumenten is namelijk groter dan de afstand tussen consumenten die zich dicht bij elkaar bevinden. Dezelfde effecten worden teruggevonden bij de levertijd en de transportkosten. De dalingen van de levertijd voor éénzelfde scenario zijn namelijk groter bij de willekeurig verspreide consumenten. Zo bedraagt de gemiddelde daling van scenario 1 naar 2 voor de geclusterde consumenten 5,35% en voor de willekeurig verspreide consumenten 9,98%. Ook de dalingen van de transportkosten zijn voor éénzelfde scenario groter bij de willekeurig verspreide

consumenten. Zo bedragen de dalingen van scenario 1 naar 2 voor de geclusterde data gemiddeld 5,38% en voor de willekeurig verspreide consumenten gemiddeld 10,00%.

Bovenstaande resultaten bevestigen hypothese 2a. Het effect van de ophaalpunten op het goederentransport is sterker wanneer de consumenten willekeurig verspreid zijn en bijgevolg zwakker bij de geclusterde consumenten.

7.3.2 Mobiliteitseffect personentransport

Om het effect van de ophaalpunten op het personentransport van de geclusterde consumenten en de willekeurig verspreide consumenten te vergelijken, wordt er verwezen naar Tabel 10 en Tabel 11.

De resultaten van de KPI's van scenario 1 van de geclusterde consumenten worden vergeleken met die van de willekeurig verspreide consumenten. Op deze manier kunnen de algemene verschillen tussen de geclusterde en willekeurig verspreide consumenten worden beschreven. De afstand die de consumenten afleggen om hun pakketten aan een ophaalpunt af te halen, is in het algemeen groter bij de willekeurig verspreide consumenten. Zo bedraagt in scenario 2 de gemiddelde afstand 318,50 kilometer voor de geclusterde consumenten en 871,17 kilometer voor de willekeurig verspreide consumenten. In scenario 4 neemt de gemiddelde afstand toe tot 870,33 kilometer voor de geclusterde consumenten en 2257,92 kilometer voor willekeurig verspreide consumenten. Aangezien de afstand die wordt afgelegd door de consumenten groter is bij de willekeurig verspreide consumenten zijn ook de transportkosten groter bij deze consumenten. In scenario 2 en 4 betalen de geclusterde consumenten gemiddeld respectievelijk 47,77 euro en 130,55 euro aan transportkosten. De willekeurige verspreide consumenten geven gemiddeld meer uit aan transportkosten, namelijk 130,68 in scenario 2 en 338,69 in scenario 4. Dit kan opnieuw verklaard worden door de locaties van de willekeurig verspreide consumenten. Deze consumenten bevinden zich in het algemeen namelijk verder van een ophaalpunt dan de geclusterde consumenten.

De vraag of het effect van de ophaalpunten op het personentransport groter is indien consumenten geclusterd zijn of willekeurig verspreid zijn, kan niet beantwoord worden door de procentuele verandering van scenario 1 naar scenario's 2, 3 en 4 te bestuderen. Echter kan deze vraag beantwoord worden op basis van de verschillen in absolute grootte van de afstand.

Hypothese 2b wordt door bovenstaande resultaten bevestigd. De verschillen in de absolute grootte van de afstand van de geclusterde consumenten en de willekeurig verspreide consumenten tonen aan dat de stijging van het personentransport sterker is indien consumenten willekeurig verspreid zijn.

7.3.3 Netto mobiliteitseffect

Tabel 12 en Tabel 13 geven de netto mobiliteitseffecten van de geclusterde en de willekeurig verspreide consumenten weer. In het algemeen zijn de totale afgelegde afstand en de totale transportkosten groter indien consumenten willekeurig verspreid zijn.

Door de tabellen met elkaar te vergelijken wordt duidelijk dat de procentuele veranderingen van de afgelegde afstand van scenario 1 naar scenario 2, 3 en 4 beduidend hoger liggen bij de willekeurig verspreide consumenten. Voor de geclusterde consumenten bedraagt de stijging van de afstand van scenario 1 naar scenario 2 gemiddeld 43,09% (Tabel 12). Indien consumenten willekeurig verspreid zijn bedraagt de stijging gemiddeld 86,70% (Tabel 13). Verder betalen de willekeurig verspreide consumenten gemiddeld meer aan transportkosten. De transportkosten stijgen bijvoorbeeld van scenario 1 naar 2 met gemiddeld 7,10% (Tabel 12) voor de geclusterde consumenten en met 15,11% (Tabel 13) voor de willekeurig verspreide consumenten.

7.4 Het effect van ophaalpunten: tijdsvensters

In de vierde fase van de analyses wordt ten slotte het gebruik van tijdsvensters toegevoegd aan het Vehicle Routing Problem. Een bepaald percentage van de consumenten stelt een tijdsvenster voorop dat het tijdsinterval aangeeft waartussen het pakket geleverd moet worden. Dit percentage bedraagt 25%, 50% of 75%. De resultaten van deze analyses beantwoorden hypothesen 3a en 3b. Deze hypothesen gaan na of het effect van de ophaalpunten sterker of zwakker is wanneer consumenten een tijdsvenster vooropstellen. De resultaten van de scenario's zonder tijdsvenster worden vergeleken met de resultaten van de scenario's waar 25%, 50% of 75% een tijdsvenster vooropstelt.

7.4.1 Mobiliteitseffect goederentransport

Tabel 18 en Tabel 19 tonen de resultaten van het effect van de ophaalpunten op het goederentransport (GT) wanneer een bepaald percentage van de consumenten een tijdsvenster vooropstelt voor respectievelijk de geclusterde consumenten en de willekeurig verspreide consumenten. Beide tabellen geven voor elke parametersetting van de tijdsvensters (TW 0%, TW 25%, TW 50% en TW 75%) het gemiddelde per scenario weer van de volgende KPI's: (1) de afgelegde afstand, (2) de levertijd, (3) de wachttijd en (4) de transportkosten. Ook de procentuele verandering van de afstand, de levertijd en de transportkosten van scenario 1 naar scenario 2, 3 en 4 worden in deze tabellen weergegeven.

Vooraleer hypothese 3a wordt beantwoord, wordt het effect van de tijdsvensters op de verschillende KPI's besproken en dit voor een gegeven percentage van de consumenten dat een ophaalpunt gebruikt. Zo kan worden nagegaan wat het algemene effect is van het gebruik van tijdsvensters zonder de invloed van het gebruik van ophaalpunten mee in rekening te brengen. Uit de resultaten van de geclusterde consumenten (Tabel 18) blijkt dat het vooropstellen van een tijdsvenster, gegeven een bepaald scenario, resulteert in een toename van de afstand van het goederentransport. De afstand neemt ook voor elk scenario toe naarmate meer consumenten een pakket binnen een bepaald tijdsvenster wensen te ontvangen. Indien alle pakketten aan huis worden geleverd en consumenten geen tijdsvensters vooropstellen (scenario 1), wordt er gemiddeld 667,09 kilometer afgelegd door de bestelwagens. Deze afstand loopt op tot gemiddeld 748,48 kilometer en 865,96 kilometer indien respectievelijk 25% en 75% van de consumenten een tijdsvenster vooropstelt. De

toename van de afstand door de toepassing van de tijdsvensters wordt ook bij scenario's 2, 3 en 4 teruggevonden.

Verder neemt de levertijd van een gegeven scenario toe en ontstaan wachttijden door het gebruik van de tijdsvensters. Zo leveren de bestelwagens de pakketten aan huis (scenario 1) in gemiddeld 9 uur en 39 minuten wanneer deze zich niet aan leveringen binnen een bepaald tijdsvenster moeten houden. De levertijd neemt toe naar gemiddeld 14 uur en 19 minuten wanneer 25% van de consumenten een tijdsvenster vooropstelt. Deze grote toename wordt onder andere veroorzaakt door de gemiddelde wachttijd van 3 uur en 25 minuten (scenario 1, TW 25%). De wachttijden bevinden zich vaak voor de leveringen aan consumenten die een tijdsvenster met tijdsinterval 13.00 uur en 17.00 uur vooropstellen. De bestelwagens moeten namelijk wachten met leveren tot de start van dat tijdsvenster. Aangezien zowel de afstand als de levertijd van een bepaald scenario toeneemt, nemen ook de transportkosten van een gegeven scenario toe. Bij volledige thuisbezorging en zonder het vooropstellen van een tijdsvenster bedragen de transportkosten van het goederenvervoer gemiddeld 389,25 euro. Deze nemen toe tot gemiddeld 583,51 euro wanneer 75% van de consumenten een tijdsvenster vooropstelt.

Om na te gaan of het effect van de ophaalpunten sterker of zwakker wordt door het vooropstellen van tijdsvenster, worden de resultaten van de analyses waarbij 25%, 50% en 75% van de consumenten een tijdsvenster vooropstelt vergeleken met de analyses waarbij geen enkele consument een tijdsvenster vooropstelt (TW 0%). Uit Tabel 18 komt naar voren dat voor elke parametersetting van het percentage van de geclusterde consumenten dat een tijdsvenster vooropstelt, de afstand van het goederentransport daalt door het gebruik van ophaalpunten. Indien geen enkele consument een tijdsvenster vooropstelt bedraagt de gemiddelde daling van scenario 1 naar 2, 3 en 4 respectievelijk 5,20%, 13,13% en 22,65%. Wanneer deze dalingen worden vergeleken met de gemiddelde dalingen van de resultaten waarbij 25%, 50% en 75% een tijdsvenster vooropstelt, wordt duidelijk dat er geen éénduidig antwoord kan geformuleerd worden op de hypothese.

Het effect van de ophaalpunten wanneer tijdsvensters worden vooropgesteld is namelijk voor sommige scenario's sterker en voor andere zwakker dan het effect van de ophaalpunten wanneer geen tijdsvensters worden vooropgesteld. Zo is het effect sterker voor scenario 2 en 4 en zwakker voor scenario 3 wanneer de resultaten van TW 0% worden vergeleken met de resultaten van TW 25%. Zo bedraagt de gemiddelde daling van scenario 1 naar scenario 2 wanneer 25% van de consumenten een tijdsvenster vooropstellen 10,57%. Deze daling is sterker dan de daling zonder gebruik van tijdsvensters (-5,20%). De daling van scenario 1 naar scenario 3 is daarentegen sterker wanneer geen enkele consument een tijdsvenster vooropstelt (-13,13%), dan wanneer 50% een tijdsvenster toepast (-11,71%). Wanneer 50% van de consumenten een tijdsvenster vooropstelt zijn de dalingen in de afstand van het goederentransport steeds sterker indien consumenten een tijdsvenster vooropstellen. Daarnaast zijn de dalingen van TW 75% in vergelijking met de dalingen van TW 0% sterker bij scenario 4 en zwakker bij scenario 2 en 3.

Ook de levertijd daalt door het gebruik van ophaalpunten. De sterkte van de daling verschilt echter tussen de parametersettings van de tijdsvensters. Zo daalt de levertijd van scenario 1 naar scenario 2, 3 en 4 sterker wanneer 25% en 50% van de consumenten een tijdsvenster vooropstelt. Wanneer 75% van de consumenten een tijdsvenster toepast, zijn de dalingen echter zwakker. Ten slotte dalen ook de transportkosten door het gebruik van de ophaalpunten. De daling van de kosten van scenario 1 naar scenario 2, 3 en 4 zijn sterker indien 25% of 50% van de consumenten een tijdsvenster vooropstelt. Indien 75% van de consumenten een tijdsvenster vooropstelt zijn de dalingen zwakker ten opzichte van de dalingen wanneer geen enkele consument een tijdsvenster vooropstelt. Het verschil in sterkte van de daling is het laatste geval echter zeer klein.

Tabel 18: Resultaten van het effect van ophaalpunten op het goederentransport met de toepassing van tijdsvensters voor geclusterde consumenten

	CLUSTER (GT)	Afstand (km)	Verandering afstand (%)	Levertijd	Verandering levertijd (%)	Wachttijd	Transportkosten	Verandering transportkosten (%)	
Gemiddelde	TW 0%	S1	667,09		09u39		00u00	€ 389,25	
		S2	633,35	-5,20%	09u05	-5,35%	00u00	€ 366,59	-5,38%
		S3	578,37	-13,13%	08u17	-13,71%	00u00	€ 334,41	-13,40%
		S4	517,11	-22,65%	07u23	-23,01%	00u00	€ 298,60	-22,99%
	TW 25%	S1	748,48		14u19		03u32	€ 522,83	
		S2	669,32	-10,57%	13u27	-5,55%	03u51	€ 483,67	-7,11%
		S3	662,50	-11,71%	12u16	-14,29%	02u52	€ 452,58	-13,59%
		S4	556,25	-25,62%	10u00	-29,89%	02u08	€ 372,63	-28,64%
	TW 50%	S1	822,58		15u21		03u32	€ 564,63	
		S2	765,08	-7,05%	14u28	-5,71%	03u32	€ 530,32	-6,19%
		S3	676,90	-17,01%	12u01	-21,70%	02u23	€ 449,34	-20,39%
		S4	610,05	-25,15%	11u40	-24,04%	03u12	€ 425,96	-24,68%
	TW 75%	S1	865,96		15u44		03u18	€ 583,51	
		S2	822,12	-5,05%	14u50	-4,66%	03u04	€ 552,03	-5,35%
		S3	781,53	-10,03%	13u24	-12,35%	02u48	€ 507,27	-13,24%
		S4	644,41	-25,66%	12u27	-17,37%	03u32	€ 458,19	-21,62%

Tabel 19 geeft een overzicht van de resultaten van het effect van ophaalpunten met de toepassing van tijdsvensters voor willekeurig verspreide consumenten. Ook bij deze consumenten wordt het algemene effect van de tijdsvensters voor een gegeven scenario besproken. Voor de willekeurig verspreide consumenten worden dezelfde effecten teruggevonden als deze van de geclusterde consumenten. Net zoals bij de geclusterde consumenten resulteert het vooropstellen van een tijdsvenster, voor een gegeven scenario, ook bij de willekeurig verspreide consumenten in een toename van de afstand van het goederentransport. De afstand neemt verder ook toe naarmate het percentage van de consumenten dat een tijdsvenster vooropstelt toeneemt. Daarnaast verlopen de leveringen trager wanneer consumenten een tijdsvenster vooropstellen en ontstaan er wachttijden. Overeenkomstig met de geclusterde consumenten bevinden de wachttijden zich voor de ondergrens van het tijdsvenster met tijdsinterval 13.00 uur en 17.00 uur. Bovendien nemen ook de transportkosten voor éénzelfde scenario toe wanneer consumenten een tijdsvenster vooropstellen.

Om vervolgens te bestuderen of het vooropstellen van tijdsvensters een invloed heeft op het effect van de ophaalpunten worden de resultaten van de analyses waarbij 25%, 50% en 75% van de consumenten een ophaalpunt vooropstelt vergeleken met de analyses waarbij er geen tijdsvensters

worden toegepast. De resultaten uit Tabel 19 tonen aan dat het gebruik van ophaalpunten door willekeurig verspreide consumenten voor elke parametersetting van de tijdsvensters resulteert in een daling van de afstand van het goedertransport. De afstand van het goedertransport daalt met gemiddeld 10,03%, 21,22% en 33,08% wanneer respectievelijk 25% (scenario 2), 50% (scenario 3) en 75% (scenario 4) gebruik maakt van een ophaalpunt. Wanneer deze dalingen worden vergeleken met de gemiddelde dalingen van de resultaten waarbij consumenten een tijdsvenster vooropstellen, dan kan worden vastgesteld dat het effect van de ophaalpunten in het algemeen sterker is wanneer consumenten een tijdsvenster vooropstellen. Indien 25%, 50% en 75% van de consumenten een tijdsvenster vooropstelt, bedragen de gemiddelde dalingen van de afstand van scenario 1 naar scenario 3 respectievelijk 23,38%, 25,48% en 23,09%. Deze dalingen zijn sterker dan de daling van 21,22%. De dalingen van de gemiddelde afstand van scenario 1 naar 4 zijn ook sterker wanneer consumenten een tijdsvenster vooropstellen. De dalingen van scenario 1 naar 2 zijn sterker wanneer 25% of 50% van de consumenten een tijdsvenster vooropstelt en zwakker wanneer 75% dit doet.

Daarnaast worden de pakketten door het gebruik van ophaalpunten sneller geleverd. Uit de resultaten blijkt dat de daling van de levertijd sterker is wanneer 25% van de consumenten een tijdsvenster vooropstelt. De daling is zwakker wanneer 75% van de consumenten een tijdsvenster vooropstelt. Door de daling van de gemiddelde levertijd en de gemiddelde afstand dalen ook de gemiddelde kosten wanneer consumenten een ophaalpunt gebruiken. De daling van de kosten van scenario 1 naar 2, 3 en 4 bedragen, indien geen tijdsvensters worden opgelegd, respectievelijk 10,00%, 21,36% en 33,25%. De dalingen van de transportkosten zijn sterker indien 50% van de consumenten een tijdsvenster vooropstelt. Indien 25% of 75% een tijdsvenster vooropstelt, is de daling van sommige scenario's sterker en voor andere zwakker.

Uit bovenstaande bespreking van de resultaten van het effect van ophaalpunt met de toepassing van tijdsvensters voor de willekeurig verspreide consumenten wordt duidelijk dat niet elke KPI een duidelijk patroon volgt. De VRP Spreadsheet Solver optimaliseert de afgelegde afstand, deze volgt wel een duidelijk patroon. De overige KPI's zijn het resultaat van deze optimalisatie.

Tabel 19: Resultaten van het effect van ophaalpunten op het goederentransport met de toepassing van tijdsvensters voor willekeurig verspreide consumenten

		RANDOM (GT)	Afstand (km)	Verandering afstand (%)	Levertijd	Verandering levertijd (%)	Wachttijd	Transportkosten	Verandering transportkosten (%)
Gemiddelde	TW 0%	S1	900,28		12u35		00u00	€ 520,23	
		S2	808,19	-10,03%	11u34	-9,98%	00u00	€ 467,13	-10,00%
		S3	708,45	-21,22%	10u30	-18,30%	00u00	€ 408,61	21,36%
		S4	602,26	-33,08%	08u35	-33,35%	00u00	€ 347,16	33,25%
	TW 25%	S1	1.017,68		17u10		02u26	€ 653,31	
		S2	897,66	-11,60%	15u13	-10,87%	02u22	€ 578,24	-11,23%
		S3	778,68	-23,38%	12u57	-24,63%	02u18	€ 495,31	-24,18%
		S4	661,88	-34,97%	11u44	-31,46%	01u45	€ 439,03	-32,65%
	TW 50%	S1	1.128,85		18u07		01u58	€ 701,60	
		S2	976,86	-11,00%	15u54	-9,40%	01u52	€ 612,66	-12,66%
		S3	839,86	-25,48%	13u57	-22,94%	01u55	€ 533,35	-23,88%
		S4	706,03	-37,37%	11u27	-36,70%	01u28	€ 441,58	-36,93%
	TW 75%	S1	1.178,29		18u10		01u21	€ 713,47	
		S2	1.065,20	-9,59%	14u50	-8,33%	01u20	€ 647,76	-9,16%
		S3	905,82	-23,09%	13u24	-17,16%	01u29	€ 559,61	-21,51%
		S4	726,93	-38,30%	12u27	-26,35%	02u17	€ 484,26	-32,06%

Op basis van de resultaten uit Tabel 18 en Tabel 19 kan hypothese 3a slechts gedeeltelijk worden bevestigd. Voor de geclusterde consumenten kan in het algemeen namelijk geen patroon worden vastgesteld waaruit blijkt of het effect van de ophaalpunt sterker of zwakker is indien een bepaald percentage van de consumenten een tijdsvenster vooropstelt. De resultaten van de willekeurig verspreide consumenten bevestigen daarentegen wel hypothese 3a. Voor deze consumenten is het effect van de ophaalpunten op de afstand van het goederentransport sterker wanneer consumenten tijdsvensters vooropstellen

7.4.2 Mobiliteitseffect personenvervoer

Om een antwoord te formuleren op hypothese 3b wordt er verwezen naar de resultaten uit Tabel 10 en Tabel 11. Deze tabellen geven de resultaten van de KPI's weer voor respectievelijk de geclusterde consumenten en de willekeurig verspreide consumenten indien geen enkele consument een tijdsvenster vooropstelt. De afstand die de consumenten afleggen tot de ophaalpunten verandert echter niet wanneer een bepaald percentage van de consumenten een tijdsvenster vooropstelt. De trips in het personenvervoer worden namelijk door de consumenten individueel uitgevoerd en maken geen deel uit van een samengestelde route. Op basis van de resultaten uit Tabel 10 en Tabel 11 werd reeds vastgesteld dat indien geen enkele consument gebruik maakt van een tijdsvenster de afstand en de transportkosten van het personenvervoer stijgen door het gebruik van ophaalpunten. Deze resultaten blijven ongewijzigd indien 25%, 50% of 75% van de consumenten een tijdsvenster vooropstelt.

Hypothese 3b wordt op basis van Tabel 10 en Tabel 11 bevestigd. Het effect van de ophaalpunten op het personenvervoer wordt namelijk niet beïnvloed door de tijdsvensters.

8 Conclusies

In deze masterproef wordt het mobiliteitseffect van ophaalpunten als alternatieve levermethode voor online bestellingen onderzocht. In tegenstelling tot sommige andere onderzoeken naar dit effect wordt in deze masterproef het effect van de ophaalpunten op zowel het personentransport als op het goederentransport besproken. Door middel van de Vehicle Routing Problem Spreadsheet Solver wordt op een kwantitatieve manier de afstand van de thuisbezorging vergeleken met de afstand van ophaalpunten als levermethode. Op deze manier wordt een antwoord geformuleerd op de volgende onderzoeksvraag: 'Wat is het effect van ophaalpunten als alternatieve levermethode voor online bestellingen op het transport?'.

Op de eerste plaats wordt het algemene effect van de ophaalpunten op het goederentransport en het personentransport bestudeerd. Uit de resultaten blijkt dat het gebruik van ophaalpunten ten opzichte van de thuisbezorging een daling van de afstand van het goederentransport teweegbrengt. De resultaten bevestigen de vooropgestelde hypothese 1a en liggen in lijn met de conclusies uit de bestaande onderzoeken (bv. Brummelman et al., 2003; Van Oosterhout, 2004, Song et al., 2012). De daling van de afstand in het goederentransport wordt veroorzaakt doordat de *last mile* bij het gebruik van ophaalpunten door de consumenten wordt uitgevoerd. Bovendien leveren de bezorgingsdiensten aan een beperkter aantal locaties. Naast de daling van de afstand van het goederentransport tonen de resultaten ook een daling van de levertijd aan. Een snellere levertijd draagt bij tot een betere dienstverlening en bijgevolg tot een mogelijk voordeel ten opzichte van de concurrentie. De dalingen van de afstand en de levertijd resulteren verder tot een daling van de transportkosten die in dit onderzoek zijn samengesteld uit de kost per gereden kilometer en het uurloon van de bestuurders. Aangezien de transportkosten een groot deel uitmaken van de logistieke kosten, hebben bedrijven baat bij de kostenreductie die resulteert uit het gebruik van ophaalpunten.

Op de tweede plaats wordt ook het algemene effect van de ophaalpunten op het personentransport onderzocht. In de huidige onderzoeken worden twee mogelijke effecten vastgesteld, namelijk de ophaalpunten brengen een stijging van de afstand in het personentransport teweeg of hebben een neutrale of beperkte impact op het personentransport. Op basis van de resultaten uit deze masterproef kan worden vastgesteld dat het gebruik van ophaalpunten een stijging van de afstand in het personentransport teweegbrengt. Deze resultaten bevestigen hypothese 1b en komen overeen met het eerstgenoemde effect (bv. Van Oosterhout, 2004; Song et al., 2012). De leveringen aan de ophaalpunten vervangen de leveringen aan huis. De consument moet in dat geval een bijkomende trip afleggen waardoor de afstand van het personentransport toeneemt. In dat geval wordt echter geen rekening gehouden met het concept *trip chaining*. Indien rekening wordt gehouden met dit concept wordt in de huidige literatuur het tweede genoemde effect vastgesteld (Weltevreden, 2008; Weltevreden & Rotem-Mindali, 2009). Om een indicatie te geven van de impact van *trip chaining* op het effect van de ophaalpunten, wordt de afstand van het personentransport bepaald wanneer een bepaald percentage van de consumenten aan *trip chaining* doet. Uit de resultaten blijkt dat het personentransport nog steeds stijgt, maar dat deze stijging minder sterk is ten opzichte van de stijging wanneer geen enkele consument aan *trip chaining* doet. Deze resultaten bevestigen de huidige onderzoeken die rekening houden met dit concept echter niet.

De resultaten van het effect van ophaalpunten op de netto mobiliteit geven aan dat het gebruik van ophaalpunten resulteert in een negatieve netto mobiliteit. Dat betekent dat de stijgingen van het personenvervoer niet gecompenseerd worden door de dalingen van het goederenvervoer. Deze vaststelling komt niet overeen met de bevindingen van de bestaande onderzoeken waar werd vastgesteld dat ophaalpunten tot een reductie van de netto mobiliteit leiden.

Op de derde plaats wordt in deze masterproef voor twee bijkomende parameters bestudeerd of deze een invloed hebben op het effect van de ophaalpunten. Een eerste parameter die mogelijk een invloed heeft op dat effect is de geografische spreiding van de consumenten. Consumenten kunnen namelijk geclusterd zijn of willekeurig verspreid. Op basis van de resultaten wordt vastgesteld dat voor beide geografische spreidingen de afstand van het goederenvervoer daalt en de afstand van het personenvervoer stijgt. De daling van het goederenvervoer is echter sterker indien consumenten willekeurig verspreid zijn. Deze resultaten bevestigen hypothese 2a. De afstand tussen de consumenten is namelijk groter indien consumenten willekeurig verspreid zijn. Wanneer de verzorgingsdiensten pakketten aan een ophaalpunt leveren, wordt meer afstand gereduceerd wanneer consumenten willekeurig verspreid zijn. Dit betekent dat verzorgingsdiensten op basis van deze analyses meer voordelen halen uit het gebruik van ophaalpunten indien consumenten willekeurig verspreid zijn. Daarnaast tonen de resultaten aan dat de stijging van het personenvervoer sterker is indien consumenten willekeurig verspreid zijn. Dit kan verklaard worden door het feit dat de locaties van de ophaalpunten voor zowel de geclusterde consumenten als voor de willekeurig verspreide consumenten gelegen zijn rond de attractiepolen van de geclusterde consumenten. Hierdoor is de afstand tussen de locaties van de ophaalpunten en de locaties van de consumenten groter indien consumenten willekeurig verspreid zijn. Dit betekent dat de consumenten meer voordeel halen uit het gebruik van ophaalpunten indien ze geclusterd zijn. De resultaten van de netto mobiliteit duiden bovendien aan dat de totale afstand voor beide geografische spreidingen toeneemt naarmate meer consumenten gebruik maken van een ophaalpunt. De stijging van de netto mobiliteit is echter groter indien consumenten willekeurig verspreid zijn. Deze bevindingen duiden dan weer aan dat het gebruik van de ophaalpunten voor de samenleving voordeliger is indien consumenten geclusterd zijn.

Op de vierde plaats wordt in dit onderzoek nagegaan of het vooropstellen van tijdsvensters een impact heeft op het effect van de ophaalpunten. Indien consumenten tijdsvensters vooropstellen moet de levering plaatsvinden in een bepaald tijdsinterval. Uit de resultaten blijkt dat indien consumenten tijdsvensters vooropstellen, in het algemeen meer afstand wordt afgelegd in het goederenvervoer (voor een gegeven percentage dat een ophaalpunt gebruikt). Verder blijkt dat de afstand van het goederenvervoer nog steeds daalt naarmate consumenten gebruik maken van een ophaalpunt. Deze daling is sterker indien consumenten willekeurig verspreid zijn. Indien consumenten tijdsvensters vooropstellen, is het moeilijker om afstandsefficiënte routeplannen op te stellen. Het gebruik van tijdsvensters is namelijk een bijkomende randvoorwaarde waarmee rekening moet gehouden worden. Wanneer meerdere pakketten van consumenten dan op een gecentraliseerde locatie, namelijk de ophaalpunten, worden geleverd is het eenvoudiger om efficiënte routes op te stellen. Bovendien mogen de verzorgingsdiensten bij de levering aan een ophaalpunt voor de start van het tijdsvenster leveren. Op basis van de resultaten kan niet worden vastgesteld

of deze daling sterker of zwakker is indien consumenten geclusterd zijn. Daarnaast komt uit de resultaten naar voren dat het personentransport niet wordt beïnvloed door het vooropstellen van tijdsvensters. De afstand die de consument moet afleggen blijft namelijk ongewijzigd.

Op basis van de resultaten uit dit onderzoek en de hierboven geformuleerde vaststellingen kan worden nagegaan of de ophaalpunten een efficiënte alternatieve levermethode is voor de thuisbezorging. Aangezien de netto mobiliteit stijgt door het gebruik van ophaalpunten kan vastgesteld worden dat de ophaalpunten in termen van totale afstand niet efficiënter zijn in vergelijking met de thuisbezorging. Echter blijkt wel dat de ophaalpunten in termen van het goederentransport een efficiënte alternatieve levermethode is. Het gebruik van ophaalpunten resulteert namelijk in een daling van de afgelegde afstand van het goederentransport, een snellere levertijd en bijgevolg tot een daling van de transportkosten. Er moet echter rekening gehouden worden met het feit dat niet alle parameters die een invloed hebben op het effect van de ophaalpunten in rekening werden gebracht.

9 Limitaties en aanbevelingen voor verder onderzoek

Ondanks het feit dat deze masterproef op drie manieren bijdraagt aan het huidige onderzoek naar het effect van e-commerce op het transport, is dit onderzoek onderworpen aan een aantal limitaties. Op basis van deze limitaties worden aanbevelingen voor toekomstig onderzoek geformuleerd.

Een eerste beperking van dit onderzoek is het feit dat de resultaten niet per definitie kunnen worden gegeneraliseerd. Er moet rekening gehouden worden met het feit dat de resultaten gebaseerd zijn op de instances uit het onderzoek van Ramaekers et al. (2018). Door deze instances te gebruiken kunnen de resultaten van deze masterproef wel veralgemeend worden, maar zijn de procentuele besparingen wel contextgevoelig. In het onderzoek van Ramaekers et al. (2018) wordt de keuze van bepaalde parameters verantwoord. Indien de parameters van een bepaalde case buiten het bereik liggen van diegene die gebruikt worden bij de instances, zullen de besparingen mogelijk afwijken van diegene die uit de analyses van deze masterproef resulteren. Zo wordt de capaciteit van de bestelwagens vastgelegd op basis van data van een Belgische logistieke dienstverlener die actief is in de B2C e-commerce context. Verder werden de tijdstippen van de tijdsvensters vastgelegd op basis van de tijdstippen waartussen Belgische consumenten hun pakket in de praktijk geleverd krijgen (Comeos, 2018). Hierdoor kunnen de resultaten mogelijk afwijken afhankelijk van het land waar het onderzoek plaatsvindt.

Een tweede beperking is het gegeven dat niet alle parameters die mogelijk het effect van de ophaalpunten op de mobiliteit beïnvloeden, opgenomen worden in dit onderzoek. De geografische spreiding van de consumenten, het concept *trip chaining* en het gebruik van tijdsvensters worden wel opgenomen in dit onderzoek. Echter zijn er parameters die een beduidende invloed kunnen hebben op het effect van de ophaalpunten die niet werden opgenomen. Zo wordt in dit onderzoek geen rekening gehouden met de mogelijkheid dat niet-succesvolle leveringen kunnen plaatsvinden. Indien een consument niet thuis is om het pakket in ontvangst te nemen, wordt het pakket opnieuw geleverd of aan een ophaalpunt geleverd. In scenario 1 zal de tweede levering aan huis tot meer goederentransport leiden en de levering aan een ophaalpunt tot zowel een stijging van het goederentransport als van het personentransport. In scenario 2, 3 en 4 waar gebruik wordt gemaakt van ophaalpunten worden niet-succesvolle leveringen vermeden wanneer de consumenten gebruik maken van een ophaalpunt. Hierdoor zal het effect dat de niet-succesvolle leveringen op het transport hebben sterker zijn bij de aan huisleveringen (scenario 1) en bijgevolg zwakker bij het gebruik van ophaalpunten (scenario 2, 3 en 4).

Als derde beperking wordt slechts één alternatieve levermethode empirisch onderzocht, namelijk de ophaalpunten. Deze wordt na de thuisbezorging het meest toegepast om een online bestelling tot bij de consument te brengen. In de literatuurstudie worden drie innovatieve levermethodes besproken. Een empirisch analyse van deze methodes gaat het doel van deze studie voorbij. Er is bijkomend onderzoek nodig om het effect van de innovatieve levermethodes empirisch te vergelijken.

Referentielijst

- Arnold, F., Cárdenas, I., & Dewulf, W. (2018). Simulation of B2C e-commerce distribution in Antwerp using cargo bikes and delivery points. *European Transport Research Review*, 10, (2).
- BeCommerce. (2019, 13 maart). *2018 absoluut recordjaar voor e-commerce in België: Belgen spenderen 10,67 miljard euro online*. Geraadpleegd via <https://www.becommerce.be/nl>
- BeCommerce. (2019, 13 juni). *Belgen gaven in eerste kwartaal van 2019 al 2,95 miljard euro uit online*. Geraadpleegd via <https://www.becommerce.be/nl>
- BeCommerce. (2019). *E-commerce in België bevestigt duurzame groei: eerste helft van 2019 reeds goed voor 5,69 miljard euro aan online uitgaven*. Geraadpleegd via <https://www.becommerce.be/nl>
- BeCommerce. (2020, 12 maart). *Een absoluut record: Belgen spenderen 11,46 miljard euro online*. Geraadpleegd via <https://www.becommerce.be/nl>
- Bhat, C.R., Sivakumar, A., & Axhausen, K.W. (2003). An analysis of the impact of information and communication technologies on non-maintenance shopping activities. *Transportation Research Part B*, 37, 857-881.
- Blauwens, G., De Baere, P., & Van de Voorde, E. (2016). *Transport Economics* (6^{de} editie). Berchem: Uitgeverij De Boeck.
- Brummelman, H.J., Kuipers, B. and Vale, N. (2003), *Effecten van Packstations op Verkeersbewegingen (Impacts of Locker Points on Mobility)*, TNO Inro, Delft.
- Cárdenas, I., Beckers, J., & Vanelslander, T. (2017). E-commerce last mile in Belgium: developing an external cost delivery index. *Research in Transportation Business & Management*, 24, 123-129.
- Comeos. (2018). *E-commerce Belgium 2018*. [PowerPoint-presentatie]. Geraadpleegd via <https://comeos.be>
- Corpuz, G., & Peachman, J. (2003). Measuring the impacts of Internet usage on travel behavior in the Sidney Household Travel Survey.
- Drexl, M. (2012). Rich vehicle routing in theory and practice. *Logistics Research*, 5, 47-63.
- Erdogan, G. (2017). An open source Spreadsheet Solver for Vehicle Routing Problems. *Computers and Operations Research*, 84, 62-72.

Farag, S., Krizek, K.J., & Dijst, M. (2006). E-shopping and its relationship with In-store Shopping: Empirical Evidence from the Netherlands and the USA. *Transport reviews*, 1, (26), 43-61.

Florio, M.F., Feillet, D., & Hartl, R.F. (2018). The delivery problem: Optimizing hit rates in e-commerce deliveries. *Transportation Research Part B*, 117, 455 – 472.

Growth From Knowledge (GFK). (2020). COVID-19 impact on Non-Food Retail. [PowerPoint-presentatie]. Geraadpleegd via <https://www.ecommercenews.be>

Golob, T.F., & Regan, A.C. (2001). Impacts of information technology on personal travel and commercial vehicle operations: research challenges and opportunities. *Transportation Research Part C*, 9, 87-121.

Heshmati, M., Verstichel, J., Esprit, E., & Vanden Berghe, G. (2019). Alternative e-commerce delivery policies: a case study concerning the effects on carbon emissions. *EURO Journal on Transportation and Logistics*. 8, (3), 217-248.

House of Marketing. (2019). *E-commerce Barometer 2018*. [PowerPoint-presentatie]. Geraadpleegd via <https://www.thehouseofmarketing.be>

Kitjacharoenchai, P., Ventresca, M., Moshref-Javadi, M., Lee, S., Tanchoco, J.M.A., & Brunese, P.A. (2019). Multiple traveling salesman problem with drones: Mathematical model and heuristic approach. *Computers & Industrial Engineering*, 129, 14-30.

McLeod, F., Cherrett, T. and Song, L. (2006). Transport impacts of local collection/delivery points. *International Journal of Logistics: Research and Applications*, 9, (3), 307-17.

Mokhtarian, P.L. (2004). A conceptual analysis of the transportation impacts of B2C e-commerce. *Transportation*, 31, 257-284.

Morganti, E., Seidel, S., Blanquart, C., Dabanc, L., & Lenz, B. (2014). The impact of e-commerce on final deliveries: alternative parcel delivery services in France and Germany. *Transportation Research Procedia*, 4, 178–190.

Moroz, M., & Polkowski, Z. (2016). The last mile issue and urban logistics: choosing parcel machines in the context of the ecological attitudes of the Y generation consumers purchasing online. *Transportation Research Procedia*, 16, 378-393.

Ozbaygin, G., Karasan, A.E., Savelsbergh, M., & Yaman, H. (2017). A branch-and-price algorithm for the vehicle routing problem with roaming delivery locations. *Transportation Research Part B*, 100, 115-137.

- Ramaekers, K., Caris, A., Moons, S., & van Gils, T. (2018). Using an integrated order picking-vehicle routing problem to study the impact of delivery time windows in e-commerce. *European Transport Research Review*, 10.
- Reyes, D., Savelsbergh, M., & Toriello, A. (2017). Vehicle routing with roaming delivery locations. *Transportation Research part C*, 80, 71-91.
- Rotem-Mindali, O., & Weltevreden, J.W.J. (2013). Transport effects of e-commerce: What can be learned after years of research? *Transportation*, 40, 867-885.
- 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.
- Shi, K., De Vos, J., Yang, Y., & Witlox, F. (2019). Does e-shopping replace shopping trips? Empirical evidence from Chengdu, China. *Transportation Research Part A*, 122, 21-33.
- Sim, L.L., & Koi, S.M. (2002). Singapore's Internet shoppers and their impact on traditional shopping patterns. *Journal of Retailing and Consumer Services*, 9, 115-124.
- Song, L., Cherrett, T., Guan, W., & Zhang, W. (2012). Alternative Solution for Addressing Failed Home Deliveries. *Transportation Research Record*, 2269, (1), 83-91.
- TNO. (2002). *The impact of e-commerce on transport in Europe and possible actions to be taken to meet increased demand*. Delft.
- Toth, P., & Vigo, D. (2014). *Vehicle Routing Problems, Methods and Applications* (2de editie). MOS-SIAM.
- Vakulenko, Y., Hellström, D., & Hjort, K. (2018). What's in the parcel locker? Exploring customer value in e-commerce last mile delivery. *Journal of Business Research*, 88, 421-427.
- Van Oosterhout, M. (2004), "Kiala: a new distribution concept for the home shopping market", in RAND Europe (Ed.), *Prediction Of E_economy impacts on Transport (POET); Actual Case Studies for Passenger and Freight Transport*, RAND Europe, Leiden.
- Visser, E.J., Lanzendorf, M. (2004). Mobility and accessibility effects of B2C e-commerce: a literature review. *Tijdschrift voor Economische en Sociale Geografie (TESG)*, 95, (2), 189-205.
- Visser, J., Nemoto, T., & Browne, M. (2014). Home Delivery and the Impacts on Urban Freight Transport: A Review, *Procedia - Social and Behavioral Sciences - 8th International Conference on City Logistics*, 125, 15 - 27.

Vlaams Instituut voor de Logistiek (VIL). (2016). *De last mile: duurzaam maar niet duurderder*.

Weltevreden, J. W. J., & Rotem-Mindali, O. (2009). Mobility effects of b2c and c2c e-commerce in the Netherlands: a quantitative assessment. *Journal of Transport Geography, 17*, (2), 83-92.

Weltevreden, J.W.J. (2007). Substitution or complementarity? How the Internet changes city centre shopping. *Journal of Retailing and Consumer Services, 14*, 192-207.

Weltevreden, J.W.J. (2008). B2C e-commerce logistics: the rise of collection-and-delivery points in The Netherlands. *International Journal of Retail and Distribution Management, 36*, (8), 638-660.

Yurek, E.E., & Ozmutlu, H.C. (2018). A decomposition-based iterative optimization algorithm for traveling salesman problem with drone. *Transportation Research Part C, 91*, 249-262.