



**UHASSELT**

KNOWLEDGE IN ACTION

## Faculteit Bedrijfseconomische Wetenschappen

master in de handelswetenschappen

### **Masterthesis**

#### **Operationele impact en sturing van tijdsvoorkeuren in e-commerce**

#### **Pieter Witkowski**

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

#### **PROMOTOR :**

dr. Yves MOLENBRUCH



**UHASSELT**

KNOWLEDGE IN ACTION

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

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

**2019**  
**2020**



# Faculteit Bedrijfseconomische Wetenschappen

master in de handelswetenschappen

## ***Masterthesis***

### ***Operationele impact en sturing van tijdsvoorkeuren in e-commerce***

#### **Pieter Witkowski**

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

#### **PROMOTOR :**

dr. Yves MOLENBRUCH



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



## Woord vooraf

Deze masterproef vormt het sluitstuk van mijn opleiding Handelswetenschappen met als afstudeerrichting Supply Chain Management aan de Universiteit Hasselt. Ik stel mijn masterproef met alle genoegen voor met als titel: "Operationele impact en sturing van tijdsvoorkeuren in e-commerce". Het schrijven van deze masterproef was een leerrijk en uitdagend proces. Deze masterproef is tot stand gekomen dankzij de hulp van enkele personen, die ik in het bijzonder wil bedanken.

Allereerst wil ik mijn promotor dr. Yves Molenbruch bedanken voor het aanreiken van het onderwerp. Dr. Molenbruch heeft me tijdens deze masterproef erg goed begeleid. Dankzij zijn snelle en steeds grondige feedback heb ik deze masterproef tot een goed einde kunnen brengen. Ik kon steeds bij dr. Molenbruch terecht met mijn vragen en ontving hierop zeer snel antwoord.

Vervolgens wil ik graag mijn ouders bedanken. Zij hebben mij de kans gegeven om deze opleiding te volgen. Ze hebben me steeds gemotiveerd en gesteund op momenten dat het moeilijker ging. Ook wil ik graag mijn vriendin, Dagmar Bielen, bedanken voor haar steun en motivatie tijdens mijn opleiding. Verder wil ik haar ook bedanken voor het herhaaldelijk nalezen van deze masterproef.

Pieter Witkowski  
Zonhoven, mei 2020



## Samenvatting

De afgelopen jaren kende de e-commerce een erg sterke groei. Aangezien steeds meer grote ketens inspelen op de markt van de e-commerce, zal deze groei zich in de toekomst blijven verderzetten. Deze groei betekent voor koeriers eveneens een sterke stijging in de vraag naar het transporteren van pakketten. Het afleveren van het pakket aan de klant wordt gezien als de laatste schakel in de supply chain. Om deze pakketten elke dag bij de klanten te krijgen, stellen koeriers rittenplanningen op. Bij het opstellen van deze rittenplanningen dient steeds rekening gehouden te worden met de voorkeuren van de klant. Één van deze voorkeuren is het tijdsvenster waarbinnen de klant beleverd wil worden. Het gewenste tijdsvenster is verschillend voor klanten waardoor koeriers telkens een complexe puzzel dienen te leggen om een zo efficiënt mogelijke rittenplanning te organiseren. Sommige klanten wensen bediend te worden binnen een erg strak tijdsvenster terwijl anderen meer flexibiliteit tonen en een breder tijdsvenster accepteren. Het invoeren van tijdsvensters kan anderzijds voor de koerier het voordeel hebben om het aantal mislukte leveringen te laten dalen. Wanneer de klant een tijdsvenster heeft toegewezen gekregen, kan deze zijn aanwezigheid thuis hierop afstemmen om het pakket in ontvangst te nemen. Er wordt onderzocht wat de operationele impact is van tijdsvoorkeuren en hoe deze gestuurd kunnen worden.

In deze masterproef wordt onderzoek gedaan naar de invloed van tijdsvensters op de operationele activiteiten van koeriers. Verder focust het onderzoek op het sturen van tijdsvoorkeuren in functie van een zo efficiënt mogelijke rittenplanning. Hier wordt ook onderzocht of de koerier deze voorkeuren kan sturen via financieel stimulerende maatregelen naar de klanten toe. De impact hiervan wordt gekwantificeerd en er wordt onderzocht of er 'regels' af te leiden zijn voor het sturen. Dit gebeurt aan de hand van een literatuurstudie en een praktijkonderzoek op basis van artificiële data met realistische kenmerken.

Een algemeen rittenplanningsprobleem met tijdsvensters of 'Vehicle Routing Problem with Time Windows' (VRPTW) vertrekt vanuit een gegeven set van klanten en een vloot voertuigen. Elk van deze klanten heeft een tijdsvoorkeur waarbinnen deze beleverd wenst te worden. De doelstelling is om met een beschikbare voertuigenvloot het transport tegen een minimale kost uit te voeren, zodanig dat alle klanten correct bediend worden. Er wordt een rittenplanning opgesteld waarin bepaald wordt welk voertuig welke klant zal bedienen. Elke rit start en eindigt steeds bij hetzelfde depot. Een koerier mag te vroeg bij een klant arriveren maar moet wachten tot het tijdsvenster zich opent. Bij flexibele tijdsvensters mag de koerier een overschrijding maken ten opzichte van de tijdsvensters, maar deze wordt beboet.



Een klant bedienen binnen het gevraagde tijdsvenster is pas geslaagd wanneer de klant het pakket effectief in ontvangst kan nemen. Een probleem dat koers regelmatig ervaren is dat klanten niet altijd aanwezig zijn op het moment van de levering. Bestaande literatuur biedt reeds oplossingen om pakketten op een alternatieve manier af te leveren. Dit kan gebeuren via een alternatieve leveringsmethode of op een alternatieve afleverlocatie. Een eerste alternatieve afleveringsmethode is het verlenen van toegang tot de woning of een bijgebouw. Dit is echter wel een methode waarbij de klant het nodige vertrouwen dient te hebben in de koerier. Een volgende methode is het leveren van het pakket in een gesloten leveringbox of receptiebox. Bij dit systeem koopt de klant een receptiebox aan en bevestigt deze permanent tegen de muur. Een leveringbox wordt in het distributiecentrum gevuld met het pakket en vervolgens door de koerier tijdelijk aan het huis bevestigd. Deze methode heeft als nadeel dat de koerier een aparte route moet ontwerpen om de lege boxen terug op te halen. Er bestaat ook de mogelijkheid om het pakket te laten leveren op een alternatieve locatie. Dit gebeurt via een ophaalpunt of via lockers. Bij een ophaalpunt is de klant steeds beperkt tot de openingsuren van het ophaalpunt. Een andere manier is om het pakket te laten leveren in een locker. De klant kan deze openen aan de hand van een elektronische code die bezorgd wordt door de koerier. Op deze manier kan de koerier het aantal geslaagde leveringen gevoelig laten stijgen. Het niet aanwezig zijn van de klant resulteert in extra handelingen voor de koerier en vaak dient de klant de volgende dag opnieuw opgenomen te worden in de rittenplanning.

Een andere manier om het aantal geslaagde leveringen te laten stijgen, is het invoeren van tijdsvensters en deze te sturen. Hier ligt ook de focus van deze thesis en het praktijkonderzoek. Om de rittenplanning zo efficiënt mogelijk te laten verlopen kan de koerier trachten om tijdsvensters te sturen. Deze sturing gebeurt vooral door middel van financiële incentives. De koerier heeft de mogelijkheid om flexibele klanten, die bredere tijdsvensters accepteren, een korting aan te bieden. Verder kan de koerier ook een extra kost aanrekenen voor klanten die minder flexibel zijn en een extra service verwachten door beleverd te worden binnen strakke tijdsvensters.

De impact van tijdsvensters op de rittenplanning wordt onderzocht in het praktijkgedeelte. Hier worden aan de hand van artificiële data verschillende scenario's met verschillende breedtes van tijdsvensters uitgewerkt. Dit gebeurt aan de hand van een VRP Spreadsheet Solver in Excel. Deze zal door middel van datasets van 100 klanten, die onderverdeeld zijn in vier gelijke clusters van 25 klanten, rittenplanningen uitwerken. Er worden scenario's uitgewerkt waarbij de tijdsvensters een breedte hebben van drie uur, van twee uur, van één uur en van 30 minuten. Tot slot wordt er een scenario behandeld dat gebruik maakt van gedifferentieerde prijzen voor verschillende breedtes van tijdsvensters. Voor elk scenario zal er steeds gewerkt worden met vijf instances per clusteringsdichtheid. In de experimenten wordt een onderscheid gemaakt tussen leveringen op het platteland en in een stedelijke context. Er wordt ook gekeken naar een scenario dat zich tussen het platteland en het stedelijk gebied bevindt. Dit wordt behandeld als het basisscenario.

Uit het praktijkonderzoek blijkt dat een versmalling van de tijdsvensters een negatief effect heeft op de efficiëntie van de rittenplanning voor koeriers. Bij tijdsvensters met een breedte van drie uur kan de koerier zijn klanten in een logische volgorde bedienen. De afstanden die de koerier hier dient af te leggen zijn vrij laag en ook de bijhorende kosten zijn acceptabel. Wanneer er gebruik gemaakt wordt van tijdsvensters met een breedte van twee uur, betekent dit een stijging van 81,40% in de af te leggen afstand en kosten op het platteland, ten opzichte van een scenario zonder tijdsvensters. In stedelijk gebied weerspiegelt dit zich in een stijging van 74,12%. Wanneer de tijdsvensters versmald worden naar een breedte van één uur, blijft enkel het stedelijk gebied aantrekkelijk. Hier is een stijging van 92,78% in de af te leggen afstand en kosten ten opzichte van een scenario zonder tijdsvensters. In de andere scenario's is er meer dan een verdubbeling van de af te leggen afstand en de kosten. Een extreem scenario met tijdsvensters met een breedte van 30 minuten blijkt operationeel niet efficiënt voor koeriers. Hier dient de koerier zowel op het platteland als in stedelijk gebied een te grote afstand af te leggen, wat leidt tot een grote kost om de rittenplanning uit te voeren. Een manier om toch smallere tijdsvensters aan te bieden is via prijsdifferentiatie. In het laatste scenario wordt er een extra kost aangerekend aan minder flexibele klanten, die een levering wensen binnen een strak tijdsvenster. In dit scenario wordt de af te leggen afstand en de kost hiervoor gevoelig kleiner. Voor koeriers is het erg interessant om klanten naar een breder tijdsvenster te sturen door middel van prijsdifferentiatie.

Wat hier niet onderzocht wordt, is dat de koerier nog een ander voordeel kan halen dankzij het gebruik van tijdsvensters. Wanneer een klant kiest voor een strak tijdsvenster, is de kans groter dat deze aanwezig is op het moment van de levering. Op deze manier kan het aantal geslaagde leveringen gevoelig stijgen waarmee een tweede poging om het pakket te af te leveren vermeden kan worden. Dit kan leiden tot een kostenbesparing voor de koerier.

Het onderzoek had ook te maken met enkele beperkingen. Het onderzoek werkt steeds met klantenbestanden ter grootte van 100 klanten. In verder onderzoek is het interessant om deze klantenbestanden te vergroten, om de operationele impact te bekijken voor de koerier. Ook kan er gewerkt worden met meer instances per scenario. In het huidige onderzoek wordt er gewerkt met vijf instances per clusteringsdichtheid en per scenario. Variatie in de resultaten tussen verschillende instances kan afgevlakt worden door meer instances te berekenen. Vervolgens kunnen koeriers ook proberen om klanten te sturen naar rustige momenten. Deze momenten bevinden zich meestal tijdens de reguliere werkuren. Dit zorgt voor meer evenwicht in de rittenplanning en de vraag. Een belangrijk aspect is hier dat klanten gestuurd worden naar momenten waarop ze thuis zijn, dit kan interessant zijn voor toekomstig onderzoek. Voor het praktijkgedeelte worden aannames gemaakt omtrent de kosten per kilometer en de opbrengst per pakket voor de koerier. De assumpties die in dit onderzoek gemaakt worden met betrekking tot de kosten en opbrengsten zijn zo realistisch mogelijk. Verder is het ook interessant om nog meer variatie aan te brengen in de breedtes van de tijdsvensters. Wat betreft de literatuur blijft het effectieve aspect van de sturing van de tijdsvensters nog onderbelicht.



# Inhoudsopgave

<b>Woord vooraf .....</b>	<b>III</b>
<b>Samenvatting .....</b>	<b>V</b>
<b>Inhoudsopgave .....</b>	<b>IX</b>
<b>Lijst van tabellen.....</b>	<b>XI</b>
<b>Lijst van figuren .....</b>	<b>XI</b>
<b>1 Inleiding .....</b>	<b>- 13 -</b>
1.1 Probleemstelling .....	- 13 -
1.2 Onderzoeksvraag en deelvragen .....	- 16 -
1.3 Onderzoeksaanpak.....	- 17 -
<b>2 Literatuurstudie.....</b>	<b>- 19 -</b>
2.1 Situering van de e-commerce in de supply chain .....	- 19 -
2.1.1 Omni-channel strategie .....	- 21 -
2.1.2 Service van koeriers in de e-commerce .....	- 22 -
2.2 Alternatieve afleverlocaties en afleveringsmethodes voor koeriers .....	- 22 -
2.2.1 Toegang tot woning of bijgebouw .....	- 23 -
2.2.2 Receptiebox of leveringbox .....	- 24 -
2.2.3 Ophaalpunt .....	- 25 -
2.2.4 Lockers.....	- 25 -
2.2.5 Samenvattende tabel.....	- 27 -
2.2.6 Levering met drones.....	- 29 -
2.3 Rittenplanningsprobleem met tijdsvensters (VRPTW) .....	- 30 -
2.3.1 Algemene definitie rittenplanningsprobleem (VRP) .....	- 30 -
2.3.2 Varianten rittenplanningsprobleem .....	- 31 -
2.3.3 Oplossingsstrategieën .....	- 33 -
2.3.4 Algemene definitie VRPTW .....	- 33 -
2.3.5 Varianten op rittenplanningsprobleem met tijdsvensters (VRPTW).....	- 34 -
2.4 Flexibele en vaste tijdsvensters.....	- 35 -
2.4.1 Het aantal geslaagde leveringen laten stijgen.....	- 37 -
2.4.2 Het opstellen en sturen van tijdsvensters .....	- 38 -
2.4.3 Gedifferentieerde tijdsvensters.....	- 39 -
2.4.4 Gedifferentieerde prijzen .....	- 40 -
2.5 Samenvatting literatuurstudie.....	- 42 -

<b>3</b>	<b>Praktijkonderzoek.....</b>	<b>- 43 -</b>
3.1	<i>VRP Spreadsheet Solver.....</i>	- 43 -
3.1.1	Gebruik van de VRP Spreadsheet Solver in het onderzoek.....	- 44 -
3.1.2	Parameters in het praktijkonderzoek.....	- 50 -
3.2	<i>Uitgewerkte scenario's praktijkonderzoek.....</i>	- 51 -
3.2.1	Scenario 1: Zonder tijdsvensters .....	- 51 -
3.2.2	Scenario 2: Breedte tijdsvensters drie uur .....	- 53 -
3.2.3	Scenario 3: Breedte tijdsvensters twee uur .....	- 55 -
3.2.4	Scenario 4: Breedte tijdsvensters één uur .....	- 57 -
3.2.5	Scenario 5: Breedte tijdsvensters 30 minuten .....	- 59 -
3.2.6	Scenario 6: Differentiatie breedte tijdsvensters en prijzen.....	- 61 -
3.3	<i>Samenvatting praktijkonderzoek.....</i>	- 63 -
<b>4</b>	<b>Conclusies en aanbevelingen voor verder onderzoek.....</b>	<b>- 65 -</b>
	<b>Referentielijst .....</b>	<b>- 69 -</b>

## Lijst van tabellen

Tabel 1: Vergelijking verschillende afleveringsmethodes en afleverlocaties (Allen et al., 2007) - 27 -	
Tabel 2: Classificatie van sturing tijdsvensters (Yang et al., 2016)..... - 38 -	
Tabel 3: Aannames praktijkonderzoek ..... - 50 -	
Tabel 4: Scenario 1: Zonder tijdsvensters ..... - 51 -	
Tabel 5: Scenario 2: Breedte tijdsvensters drie uur ..... - 53 -	
Tabel 6: Scenario 3: Breedte tijdsvensters twee uur..... - 55 -	
Tabel 7: Scenario 4: Breedte tijdsvensters één uur ..... - 57 -	
Tabel 8: Scenario 5: Breedte tijdsvensters 30 minuten ..... - 59 -	
Tabel 9: Scenario 6: Gedifferentieerde tijdsvensters..... - 61 -	

## Lijst van figuren

Figuur 1: Vergelijking prijzen tijdsvensters (Agatz et al., 2013) ..... - 41 -	
Figuur 2: Werking VRP Spreadsheet Solver (Erdogan, 2017) ..... - 44 -	
Figuur 3: VRP Solver Console ..... - 44 -	
Figuur 4: Clustering met dichtheid 0,30 ..... - 45 -	
Figuur 5: Clustering met dichtheid 0,50 ..... - 46 -	
Figuur 6: Clustering met dichtheid 0,70 ..... - 46 -	
Figuur 7: Werkblad 1: Locaties ..... - 47 -	
Figuur 8: Werkblad 2: Afstanden ..... - 48 -	
Figuur 9: Werkblad 3: Voertuigen ..... - 48 -	
Figuur 10: Werkblad 4: Oplossing ..... - 49 -	
Figuur 11: Werkblad 5: Visualisatie ..... - 49 -	
Figuur 12: Visualisatie rittenplanning zonder tijdsvensters..... - 52 -	
Figuur 13: Visualisatie rittenplanning met tijdsvensters van drie uur..... - 54 -	
Figuur 14: Visualisatie rittenplanning met tijdsvensters van twee uur ..... - 56 -	
Figuur 15: Visualisatie rittenplanning met tijdsvensters van één uur ..... - 58 -	
Figuur 16: Visualisatie rittenplanning met tijdsvensters van 30 minuten..... - 60 -	
Figuur 17: Visualisatie rittenplanning met gedifferentieerde tijdsvensters ..... - 62 -	



# 1 Inleiding

## 1.1 Probleemstelling

In 2018 gaven de Belgen 10,6 miljard euro uit aan winkelen via het internet, een stijging van 6% in vergelijking met 2017. Dit cijfer zal volgens de belangenvereniging BeCommerce blijven groeien in de toekomst. Steeds meer bedrijven zien de waarde hiervan in en investeren steeds meer in hun webwinkels (De Tijd, 2019). Deze investering is nodig om de concurrentiële positie te waarborgen. De concurrentie is sterk gestegen sinds de opkomst van grote webwinkels als Bol.com, Amazon en Zalando. Reeds bestaande ketens springen mee op de kar van de e-commerce om niet overschaduwd te worden door deze grote webwinkels waar het aanbod vaak groter is.

De e-commerce sector kende de afgelopen jaren een wereldwijde groei. Deze groei heeft een sterke invloed gehad op de retail – en de logistieke industrie. Deze invloed weerspiegelt zich in een grote hoeveelheid online aankopen en een stijgende vraag naar transport van goederen en pakketten. Bedrijven in de e-commerce blijven jaarlijks grotere inkomsten genereren (Vakulenko et al., 2019).

Het afleveren van het pakket aan de eindconsument is de laatste schakel in de supply chain. Naast de laatste schakel is dit ook de meest kosten intensieve schakel. Eindconsumenten stellen ook steeds hogere eisen inzake kwaliteit en dienstverlening. Ze verwachten een gepersonaliseerde service waarbij ze inspraak krijgen in het tijdstip en de plaats van de levering. De koeriers worden echter geconfronteerd met nieuwe uitdagingen, waaronder een toenemende vraag en grotere transportvolumes. Logistieke dienstverleners zoeken daarom naar innovatieve oplossingen die vaak aangedreven worden door technologische ontwikkelingen (Vakulenko et al., 2019).

Het leveren van pakketten vereist een goede planning om de transportkosten zo laag mogelijk te houden. De koerier stelt een tijdsvenster op waarbinnen hij zich op het leveringsadres zal melden met de bestelde goederen. Echter blijkt dat de eindconsument vaak niet aanwezig is (Wang et al., 2016). De tijdsvensters die opgesteld worden door koeriers zijn vaak te breed. De breedte varieert vaak tussen twee en vier uren. Verder zijn deze tijdsvensters ook te vaak gelegen in de werkuren van de eindconsument.

Wanneer er niemand thuis is, zijn er reeds bestaande methodes om het pakket veilig achter te laten:

Alternatieve methode:

- Het pakket laten leveren in een gesloten box aan huis. De klant moet zelf investeren in deze box en bezorgt een code aan de koerier om het pakket in de box te plaatsen.
- De pakketbezorger toegang geven tot (een deel van) de woning. Mensen laten hun pakket vaak leveren onder een afdak of in een veranda.



Alternatieve locatie:

- Het pakket laten leveren bij de bureu.
- Het pakket laten leveren bij een lokale ondernemer. Hier kan de klant het pakket zelf ophalen.
- Combinatie van locaties: overdag op het werk en 's avonds thuis.
- De klant krijgt een code om de box te openen en het pakket later op te halen. Een voorbeeld hiervan zijn lockers of receptie boxen.

Alternatief tijdstip:

- Pakketleveranciers die het pakket terug meenemen, moeten de dag nadien opnieuw een poging ondernemen om het pakket af te leveren op het opgegeven adres.

(McKinnon & Tallam, 2003).

De mislukte leverpogingen zijn een terugkomend probleem en dragen ook onnodige kosten met zich mee. De koerier zal zijn rittenplanning zo indelen dat de levertijden overeenstemmen met de beschikbaarheid van de klant. Om dit efficiënt te doen, kunnen koeriers beschikbaarheidsprofielen van klanten opstellen. Door middel van deze profielen, kunnen ze het aantal succesvolle leveringen per rit voorspellen (Florio et al., 2018).

Klanten zijn ondertussen meer bereid om extra te betalen voor een standaard levering van de koerier of leveringen waarbij het pakket onmiddellijk verzonden wordt. Het pakket wordt vervolgens binnen een zo kort mogelijke tijdspanne geleverd. Voor de planning van deze complexe dienst bestaan er reeds wiskundige modellen om de optimale strategie te bepalen, rekening houdend met beperkingen zoals capaciteit, tijdspanne en beschikbaarheid (Tamas et al., 2018).

Het achterliggende rittenplanningsprobleem vanuit het standpunt van de koerier is een rittenplanningsprobleem met tijdsvensters (VRPTW). Een VRPTW (vehicle routing problem with time windows) beschrijft het probleem van de rittenplanning van een bepaald aantal voertuigen die te maken hebben met een beperkte capaciteit (Ghoseiri & Ghannadpour, 2010).

Deze voertuigen vertrekken vanuit een centraal gelegen depot naar verschillende klanten die zich op verschillende geografische locaties bevinden. Deze klanten hebben elk hun eigen eisen en stellen een tijdsvenster ter beschikking waarin ze hun bestelling willen ontvangen. Het aantal voertuigen van de vloot kan reeds bepaald worden en de totaal afgelegde afstand geminimaliseerd. Echter, de grootste factor is nog steeds de kost van het transport verbonden aan de totaal afgelegde afstand. Er wordt gezocht naar de meest kostenefficiënte route van het centrale depot naar de verschillende klanten (Ghoseiri & Ghannadpour, 2010).

Voorgaand onderzoek heeft reeds een voertuig rittenplanningsprobleem optimaal kunnen oplossen met data van 100 klanten. Hier werd de meest kostenefficiënte route berekend. Om de optimale oplossing te bieden voor meer dan 100 klanten, zijn er nog geen efficiënte algoritmes gevonden. Het probleem van deze algoritmes is vooral dat de rekentijden te lang worden om praktisch bruikbaar te zijn. Hier wordt wel meestal gewerkt met heuristieken. Een heuristisch algoritme lost een probleem relatief snel en efficiënt op. Het wordt gebruikt omdat er geen exacte oplossing mogelijk is. Het geeft dus een benaderende oplossing, vaak volstaan deze om toe te passen in de praktijk. Het rittenplanningsprobleem met tijdsvensters presenteert zich in eerder onderzoek als een multi-objectief probleem waarbij getracht wordt de grootte van de bestaande vloot en de afgelegde rijafstand te minimaliseren. Hierbij mogen de beschikbare tijdsvensters en de beschikbare capaciteit niet overschreden worden (Ghoseiri & Ghannadpour, 2010).

Door de grote groei van de e-commerce komen koeriers steeds meer problemen tegen in hun operationele activiteiten. Om aan de vereisten van de klant te voldoen, is er een zeer goede rittenplanning nodig. Klanten verwachten dat hun pakket steeds geleverd kan worden binnen het door hun opgegeven tijdsvenster. Echter, koeriers ervaren dit als een zware opdracht. De huidige problemen van koeriers situeren zich nu bij de afwezigheid van de klant op het moment van de levering. Verder wordt ook steeds een snelle levering verwacht. Dit zorgt voor een dynamischer probleem. Dit betekent dat er verschillende complexe elementen zijn die kunnen veranderen. Het leveren binnen de tijdsvensters is het moeilijkst en hier zijn minder efficiënte oplossingen mogelijk.

In deze masterproef wordt onderzocht wat de invloed van tijdsvensters is op de operationele activiteiten van koeriers en hoe deze voorkeuren gestuurd kunnen worden. Het onderzoek focust op het sturen van de tijdsvoorkeuren door de koeriers, via financieel stimulerende maatregelen. Er wordt onderzocht of er een impact te kwantificeren valt en of er 'regels' af te leiden zijn voor het sturen. Dit gebeurt aan de hand van een literatuurstudie en een praktijkonderzoek op basis van artificiële data met realistische kenmerken.

## 1.2 Onderzoeksvraag en deelvragen

In de onderstaande sectie wordt de hoofdonderzoeksvraag en de ondersteunende deelvragen van het onderzoek besproken.

### **Hoofdonderzoeksvraag:**

Wat is de invloed van sturing van tijdsvensters op de operationele activiteiten van koeriers in de e-commerce?

### **Deelvragen:**

1. Welke problemen ervaren koeriers in de e-commerce?

In de literatuur wordt gezocht naar de huidige uitdagingen die koeriers op heden ervaren door de sterke groei van de e-commerce.

2. Wat zijn reeds bestaande oplossingen voor deze problemen?

In bestaande literatuur zal onderzocht worden welke oplossingen er reeds beschikbaar zijn voor de stijgende vraag naar pakketleveringen, vanuit het oogpunt van de koerier. De koerier krijgt te maken met grotere volumes en strakke tijdsvensters.

3. Welke invloed hebben tijdsvensters op de operationele activiteiten van koeriers?

Koeriers ervaren veel druk door de tijdsvensters die beschikbaar gesteld worden. Via literatuur en kwantitatief onderzoek zal onderzocht worden welke invloed deze tijdsvensters hebben op de rittenplanning van koeriers. Om aan de wensen van de klanten te voldoen, wordt er vaak geleverd binnen strakke tijdsvensters. Dit is voor koeriers niet altijd evident en brengt extra kosten met zich mee

4. Kunnen de tijdsvoorkeuren van klanten gestuurd worden door leveringskosten?

Voor koeriers is het interessant als ze zelf de tijdsvensters voor klanten kunnen sturen. Dit is echter wel een afweging tussen de efficiëntie van de eigen operationele activiteiten en de commerciële geste naar de klant toe. Zo kunnen koeriers wel zelf een optimale rittenplanning uitwerken. Koeriers proberen om tijdsvoorkeuren van klanten te sturen door verschillende kosten aan te rekenen voor verschillende tijdsvensters.

5. Wat is de optimale strategie voor een rittenplanning met tijdsvensters?

Het onderzoek zal trachten om voor verschillende situaties en tijdsvensters een optimale strategie voor de rittenplanning te formuleren.

### **1.3 Onderzoeksaanpak**

De onderzoeksvragen zullen beantwoord worden door een literatuurstudie, aangevuld met een kwantitatief onderzoek op basis van artificiële data.

Voor de literatuurstudie zal er gebruik gemaakt worden van wetenschappelijke artikels uit wetenschappelijke tijdschriften, logistieke tijdschriften en websites van vakorganisaties. Deze literatuur zal gezocht worden via UHasselt bibliotheek en Google Scholar. Er zullen verscheidene zoektermen gebruikt worden om de juiste informatie over het onderzoeksonderwerp te zoeken:

- Last mile delivery problems
- Last mile delivery time frames
- E-commerce route planning
- Parcel delivery routes
- Time windows parcel delivery
- Vehicle routing problems
- Route planning time windows
- Soft time windows
- Hard time windows

Vervolgens zal er een kwantitatief onderzoek uitgevoerd worden. Dit onderzoek zal gebruik maken van artificiële data met realistische kenmerken. Een artificiële dataset bestaat uit data die kunstmatig aangemaakt worden. Hier worden realistische kenmerken aan gegeven om ervoor te zorgen dat het een accuraat resultaat geeft. De data worden verder verwerkt in een reeds bestaande Excel-tool (Erdogan, 2016). Via deze tool zal er een optimale rittenplanning bepaald worden voor verschillende scenario's. Er zal gewerkt worden met verschillende tijdsvensters voor de verschillende klanten. Er worden situaties gecreëerd met verschillende geografische spreiding van de klantenlocaties en verschillende groottes van de vloot.

Het kunstmatig aanmaken van deze data zorgt ervoor dat er verschillende scenario's vergeleken kunnen worden. Zo kunnen er conclusies getrokken worden over situaties met verschillende tijdsvensters, verschillende groottes van de vloot en verschillende geografische spreiding van de klantenlocaties.



## 2 Literatuurstudie

In dit onderdeel van het onderzoek wordt een overzicht gegeven van de bestaande literatuur met betrekking tot de invloed van tijdsvensters op de operationele activiteiten van koeriers. Eerst wordt de e-commerce gesitueerd in de supply chain. Vervolgens worden reeds bestaande afleveringsmethodes en afleverlocaties voor koeriers besproken. Verder wordt het rittenplanningsprobleem met tijdsvensters uitvoerig behandeld en wordt er onderzocht hoe de koerier de tijdsvensters kan sturen.

### 2.1 Situering van de e-commerce in de supply chain

De grote groei van de e-commerce zorgde voor een sterke ontwikkeling van de retail en logistiek. In 2016 bedroeg de e-retail 8,6% van de wereldwijde retail verkoop. Volgens huidige voorspellingen zal dit cijfer oplopen tot 15,5% in 2021. Het internet speelt hier een grote rol. Via deze weg kunnen retailers makkelijk en meer klanten bereiken. De e-commerce bevindt zich in de laatste schakel van de supply chain, samen met de last mile delivery (Vakulenko et al., 2019).

Een supply chain bestaat uit verschillende spelers die elk een belangrijke rol hebben in de keten. De supply chain wordt gedefinieerd als een geïntegreerd netwerk van faciliteiten en transport voor de levering, productie, opslag en distributie van materialen en producten (Garcia & You, 2015).

Een klassieke supply chain bestaat uit verschillende schakels die elk een specifieke rol spelen in het geheel. Het design van een klassieke supply chain begint bij de materialen die nodig zijn om een bepaald product te produceren. Deze materialen worden via een leverancier aan een producent bezorgd. Vervolgens zal de producent dit verwerken tot een afgewerkt product. Hierna kunnen deze goederen opgeslagen worden in een distributiecentrum. Via dit distributiecentrum worden de afgewerkte goederen verdeeld over kleinhandelaars. De uiteindelijke eindconsument kan zo het afgewerkte product bij de kleinhandelaar aankopen. In een supply chain is een grote rol weggelegd voor logistieke activiteiten, aangezien deze zorgen voor het vervoeren van de goederen tussen de verschillende schakels (Wang et al., 2017).

De logistieke activiteiten en schakels in een supply chain worden sterk beïnvloed door de groei van de e-commerce. Om producten in een e-commerce omgeving bij de klant te krijgen zijn er drie fases met logistieke activiteiten. Een eerste fase bestaat uit het aanvullen van de voorraad van het distributiecentrum of het magazijn door het product te bestellen bij de producent. In de tweede fase wordt het order behandeld in het distributiecentrum. Het order zal worden verzameld, gesorteerd en vervolgens verpakt voor verzending. Een derde en laatste activiteit is een zo snel mogelijke levering van de bestelde producten. Zo wordt de kleinhandelaar in de keten overgeslagen. De producten passeren niet fysiek via de winkels en gaan rechtstreeks via het distributiecentrum naar de klant. In sommige gevallen kan de klant kiezen om de producten die online besteld worden, af te halen in de fysieke winkel van de kleinhandelaar. Zo wordt deze soms wel in de keten betrokken (Wang et al., 2017).

In de e-commerce wordt er zowel in een business to consumer (B2C) als in een business to business (B2B) context gewerkt. In een B2C model is de website van het bedrijf vaak de plaats waar alle transacties plaatsvinden tussen de klant en het bedrijf. Een klant zal op de website zijn order plaatsen en ook ineens de mogelijkheid hebben om dit te betalen. Nadat het bedrijf dit order ontvangen heeft, zal het dit aan de klant bezorgen. Een B2B model verwijst naar een situatie waar een bedrijf een bestelling plaatst bij een ander bedrijf. De bestelde volumes zijn hier veel groter dan in een B2C en vaak complexer om te behandelen. In een klassieke supply chain zijn er veel B2B transacties van grondstoffen of componenten. Enkel een B2C transactie wordt gelinkt aan het specifiek afleveren van een afgewerkt product aan de eindklant (Wang et al., 2017).

Een effectieve manier om controle te houden over de supply chain is het zelf managen van de logistieke stromen van opslag tot distributie. Op deze manier is het mogelijk om de logistieke service en betrouwbaarheid van kortbij op te volgen. Bedrijven in de e-commerce bouwen steeds vaker hun eigen logistieke netwerk. Dit doen ze om de kwaliteit van de service te laten stijgen. De service voor de uiteindelijke levering van de koerier aan de eindklant is een van de belangrijkste factoren van een e-commerce bedrijf. De distributie van de goederen en de service na verkoop vormen hier vaak nog een bottleneck. Een continue verbetering op vlak van service is een must. Het zelf beheren van deze stromen leidt echter vaak tot hogere kosten en minder beschikbaar kapitaal (Wang et al., 2017).

In de e-commerce sector wordt ook vaak gewerkt met het uitbesteden van de logistieke activiteiten. Een eerste reden dat bedrijven kiezen voor het uitbesteden is omdat dit de lasten van het bedrijf kan verminderen. Het bedrijf moet zo minder middelen investeren en kan zich zo concentreren op de hoofdactiviteiten. Verder is het mogelijk om investeringen in vaste activa zoals magazijnen, wagenparken en software te verminderen. De logistieke activiteiten worden daarom vaak uitgevoerd door een extern bedrijf, dit wordt third party logistics (3PL) genoemd. Door de grote groei in de e-commerce is ook de vraag naar 3PL diensten aanzienlijk gestegen. 3PL bedrijven investeren daarom in extra capaciteit (Wang et al., 2017).

Het uitbesteden van de logistieke activiteiten kan ook nadelen hebben. Zo ontbreekt het bedrijven aan controle over de gehele logistieke stroom. Verder kan het dat het serviceniveau van de logistieke partners niet overeenstemt met de wensen van de klant. Er moet een goede afweging gemaakt worden tussen de voordelen en de nadelen van het uitbesteden (Wang et al., 2017).

### **2.1.1 Omni-channel strategie**

De e-commerce wint de laatste jaren sterk aan populariteit. De technologische ontwikkeling van de sector zorgt voor een andere klantervaring. Kleinhandelaars proberen een zo goed mogelijk netwerk te creëren om aan alle wensen van de klanten te voldoen. Een eerste evolutie was het tot stand komen van een multi-channel. Binnen een multi-channel kunnen klanten kiezen tussen verschillende verkoopkanalen:

- aankoop via een webshop;
- aankoop via een app;
- aankoop via sociale media;
- aankoop via een catalogus;
- aankoop via een fysieke winkel.

Deze kanalen zijn echter niet direct op elkaar afgestemd. Dit wil zeggen dat er prijsverschillen kunnen zijn tussen de verschillende verkoopkanalen. Het bedrijf kan zo zelf bepalen welk kanaal het best past bij de klantervaring die ze willen aanbieden. Hier gelden vaak andere verkoopvoorwaarden bij een aankoop in de fysieke winkel dan bij een aankoop in een webshop of via een andere weg (Verhoef et al., 2015).

Een omni-channel wordt beschouwd als een geoptimaliseerde versie van een multi-channel. Binnen een omni-channel zijn er verschillende verkoopkanalen beschikbaar voor de klant. Deze kanalen zijn wel goed op elkaar afgestemd en draaien als het ware rond de klant heen. De klant kan dan zelf beslissen via welk kanaal hij zijn aankoop wil doen. Bij het gebruik van deze strategie zijn de verkoopvoorwaarden van elk kanaal gelijk. Het creëren van een omni-channel is echter een investering voor een kleinhandelaar maar zorgt wel voor een grotere klanttevredenheid en tijdswinst (Saghiri et al., 2017). Door deze ontwikkeling verandert de volledige bedrijfsstructuur van kleinhandelaars. Ze moeten inzetten op verschillende kanalen. De mogelijkheid ontstaat om bijvoorbeeld een product via de webshop te bestellen en dit in de fysieke winkel af te halen. Dit beïnvloedt ook de supply chain en de logistieke stromen tussen de verschillende spelers in de e-commerce.



### **2.1.2 Service van koeriers in de e-commerce**

Om een succesvolle last mile uitvoering te doen moeten bedrijven rekening houden met twee belangrijke factoren: veranderingen in consumentengedrag en veranderingen in consumentenbeleving (Vakulenko et al., 2019).

De eerste uitdaging voor koeriers zijn de groeiende volumes van goederen die geleverd en geretourneerd worden. Een volgende uitdaging is de steeds stijgende kwaliteitseis van klanten. Klanten gaan steeds op zoek naar een meer gepersonaliseerde service waarbij ze inspraak hebben in de tijd en plaats van de levering. Om aan deze wensen te voldoen, zoeken koeriers naar nieuwe oplossingen voor een betere service. Om de effectiviteit van service tools te kennen, kan een bedrijf niet anders dan deze te testen. Deze service tools omvatten de aangeboden diensten omtrent leveringsmethoden, het helpen van klanten met vragen en de regelgeving over het retourneren van aangekochte producten (Vakulenko et al., 2019)

Innovaties in klantenservice worden beschreven als het stroomlijnen van de service, de beleving van de klant vergroten, een verschillende service bieden dan de concurrentie en het helpen van de klant wanneer deze vragen heeft. Wanneer klanten gevraagd wordt naar hun mening over alternatieve of innovatieve levermethoden, linken ze dit steeds aan de reeds bestaande methoden. De problemen die klanten met reeds bestaande methoden ervaren, zijn de prijs, het niveau van transparantie van de levering en de controle over het tijdstip van levering. De aankondiging van een aangepaste service betekent ook dat de klant steeds nieuwe en hogere verwachtingen krijgt. Klanten van de e-commerce zijn op zoek naar de voordelen van zowel het online shoppen als de service van de koerier (Vakulenko et al., 2019).

Koeriers krijgen te maken met verschillende problemen tijdens het afleveren van pakketten. Er bestaan reeds verschillende opties om deze problemen aan te pakken.

### **2.2 Alternatieve afleverlocaties en afleveringsmethodes voor koeriers**

Klanten worden steeds veeleisender. Ze verwachten dat ze het pakket kunnen laten leveren op dezelfde of op de volgende dag, nadat het pakket besteld werd. Verder willen klanten ook inspraak in de alternatieve locatie om een pakket te leveren. Koeriers proberen zo oplossingen te vinden om enerzijds aan deze wensen te voldoen en anderzijds toch nog efficiënt hun operationele activiteiten uit te voeren (Florio et al., 2018).

Een groot probleem dat koeriers in de e-commerce ervaren is de afwezigheid van de klant tijdens de levering. Bedrijven proberen steeds om zo veel mogelijk leveringen van de eerste keer te laten slagen. Wanneer het pakket niet afgeleverd kan worden bij de eerste poging, moet de koerier extra handelingen stellen met het pakket. Zo zal hij eventueel op een later tijdstip terugkeren om alsnog het pakket af te leveren. Verder moet het pakket opnieuw ingeladen en gescand worden, waarna melding gemaakt wordt van de afwezigheid van de klant (Florio et al., 2018).

Bij een levering waarbij de klant afwezig is, wordt het pakket vaak aan de voordeur of bij de burens achtergelaten. Ondertussen zijn er verschillende methoden ontwikkeld om het pakket op een veilige plek achter te laten. Het leveren van het pakket op een veilige plaats is belangrijk voor het niveau van de klantenservice. Een koerier kan het zich niet veroorloven om een pakket ergens achter te laten waar het kan meegenomen worden door een vreemde (McKinnon & Talam, 2003).

Wanneer de klant niet thuis is op het moment van de levering zal de koerier het pakket op een alternatieve manier proberen te leveren. Een eerste mogelijkheid is om de koerier toegang te geven tot de woning of een bijgebouw. Hiervoor dient de ontvanger wel het nodige vertrouwen te hebben in de koerier. Anderzijds is dit zeer nuttig voor de levering van een pakket met een grotere financiële waarde, zo is de ontvanger zeker dat dit op een veilige plaats geleverd wordt.

### **2.2.1 Toegang tot woning of bijgebouw**

Wanneer de klant wil dat het pakket wordt achtergelaten onder een afdak of carport is dit een veiligheidsafweging die gemaakt is door de klant zelf. Hier vormt zich het probleem dat er vaak geen bewijs van aflevering is (McKinnon & Talam, 2003). De toegang tot een afgesloten ruimte is de beste optie inzake veiligheid. De klant zal een sleutel achterlaten in een elektronisch slot. De koerier kan deze vervolgens openen om dan toegang te krijgen tot de ruimte. Na het plaatsen van de goederen in deze ruimte laat de koerier de sleutel terug achter in het elektronische slot. Deze methode is beter voor de veiligheid van het pakket (Iwan et al., 2015).

Het toegang geven tot de woning of een bijgebouw wordt reeds gebruikt door verschillende koeriers. De keuze voor deze leveringsmethode kan makkelijk online ingesteld worden via de voorkeuren voor de levering. Zo is er de mogelijkheid om een foto te maken van de plaats waar de koerier het pakket moet afleveren. Voorlopig gebeurt dit nog vaak onder een afdak, carport of aan de achterdeur van de klant. Deze alternatieve leveringsmethode is echter nog niet de oplossing voor het routeprobleem van koeriers. Deze moeten nog steeds bij elke klant langsgaan om het pakket effectief af te leveren. Het voordeel hiervan is, is dat de klant niet aanwezig dient te zijn op het moment van de levering. Zo zal het aantal mislukte leveringen sterk dalen.

### **2.2.2 Receptiebox of leveringbox**

Een tweede alternatieve methode om het pakket te leveren is via een receptiebox aan huis (McKinnon & Talam). Een receptiebox wordt permanent in een muur geplaatst in de gevel van het huis. De klant en de koerier zijn de enige die toegang hebben tot deze box. De toegang tot deze box verloopt via een sleutel of een elektronische code. Deze pakket box maakt het mogelijk om op elk moment de bestelde goederen af te leveren. Dit zorgt ervoor dat de afwezigheid van de klant op het moment van de levering geen invloed heeft op de levering zelf. De klant wordt telefonisch of via e-mail verwittigd wanneer de koerier het pakket in de box heeft afgeleverd. Deze box wordt meestal gebruikt voor gewone pakketten maar er zijn ook boxen die de temperatuur kunnen regelen voor de levering van voeding. De eigenaars van de box moeten op deze manier niet onnodig naar het postkantoor of afhaalpunt om het pakket op te halen. Naast een gemiste levering vermijdt deze box ook de kans op diefstallen. Voor de koerier heeft dit ook een grote impact. Deze zal het pakket kunnen afleveren ongeacht de klant aanwezig is of niet. Dit zorgt ervoor dat de koerier geen extra handelingen moet stellen zoals terugkeren of het pakket op een ander adres afleveren. Zo zal er een aanzienlijke stijging zijn van het aantal succesvolle leveringen (Iwan et al., 2015).

Een derde mogelijkheid is het ontvangen van een pakket via een leveringbox. Deze box is verschillend van een receptiebox. De leveringbox is eigendom van de retailer of van het leveringsbedrijf. De box wordt in het distributiecentrum gevuld met de bestelde goederen en meegegeven aan de koerier. De koerier zal deze box vervolgens tijdelijk aan de woning bevestigen via een vergrendeling aan het huis van de klant. Wanneer de box bevestigd is, krijgt de klant hier telefonisch of via e-mail melding van. De box kan geopend worden via een elektronische code die de klant ontvangt bij de informatie van de levering. Lege boxen worden door het leveringsbedrijf opnieuw opgehaald. Dit gebeurt via een aparte ophaalroute of in combinatie met een leveringsroute. Via deze weg is opnieuw de veiligheid gegarandeerd bij een levering met afwezigheid van de klant (Iwan et al., 2015).

Het laten leveren van een pakket in een receptie of leveringbox is een afweging die de klant zelf moet maken. De box moet door de klant zelf aangekocht worden en vraagt dus een investering die veel klanten niet willen dragen. Deze aflevermethode heeft dezelfde invloed op de operationele activiteiten van de koerier als het laten leveren in de woning of op een zelfgekozen plek.

### **2.2.3 Ophaalpunt**

Een vierde mogelijkheid is het laten leveren van het pakket in een ophaalpunt. Een ophaalpunt is een andere locatie dan de woonplaats van de klant. Het gaat vaak om het dichtstbijzijnde postkantoor, de dichtstbijzijnde supermarkt of het dichtstbijzijnde tankstation. De koerier kiest vaak een optie met openingstijden waarbij de klant na de werkuren het pakket kan ophalen. De goederen worden in het afhaalpunt afgeleverd waarna de klant een melding ontvangt dat het pakket klaar is om afgehaald te worden. Soms is er de mogelijkheid om met het afhaalpunt af te spreken om de goederen alsnog op het adres van de klant te laten bezorgen. Het gebruik van deze ophaalpunten zorgt ervoor dat de koerier minder afleverlocaties heeft en zo makkelijker routes kan plannen. Ook zorgen deze ophaalpunten ervoor dat het aantal geslaagde leveringen sterk stijgt (Iwan et al., 2015).

Een laatste optie is het laten leveren van het pakket in een groep van lockers. Lockers zijn groepen van receptie boxen en zijn vergelijkbaar zijn met ophaalpunten. Deze gegroepede lockers zijn meestal terug te vinden bij appartementsblokken, dicht bij grote parkeergarages of bij een station van het openbaar vervoer. Er bestaan geen persoonlijke lockers, om het gebruik ervan te optimaliseren. Pakketten kunnen door de koerier in de locker geplaatst worden. De klant krijgt vervolgens de melding dat zijn pakket afgeleverd is. Vervolgens krijgt de klant het nummer van de locker en de code om het elektrische slot te openen. Deze gegroepede lockers kunnen door één leveringsbedrijf gebruikt worden of het kan gedeeld worden met meerdere leveringsbedrijven (Iwan et al., 2015).

### **2.2.4 Lockers**

Het werken via lockers kan wel een groot verschil maken. Deze lockers kunnen op een door de koerier gekozen locatie geplaatst worden. Het is een systeem van receptie boxen dat toelaat om 24u/dag en 7 dagen per week pakketten te ontvangen of te verzenden. De klant heeft ook de mogelijkheid om zelf pakketten te verzenden via het systeem van de lockers (Iwan et al., 2015).

De werking van de locker is overzichtelijk:

1. de klant koopt online en kiest de gewenste locatie van lockers waar het de levering wil ontvangen;
2. na het bestellen ontvangt de klant bevestiging via e-mail;
3. binnen een vooraf opgestelde termijn levert de koerier het pakket af in de locker en ontvangt de klant een e-mail en/of SMS met de lockernummer en de code om deze te openen;
4. de klant moet zich zelf naar de locker verplaatsen om deze vervolgens te openen met de verkregen code;
5. tijdens de gehele service kan de klant het pakket volgen via track&trace.

(Iwan et al., 2015).

Een belangrijk aspect van deze lockers is om het aantal leveringen in binnensteden sterk te verminderen en het aantal mislukte leveringen te doen dalen. Ook heeft deze aanpak maatschappelijke voordelen. Het helpt om onnodige ritten te vermijden en kan een impact hebben op de congestie in- en rond de steden. Het is zeer belangrijk dat deze lockers op de juiste locatie geplaatst kunnen worden om ervoor te zorgen dat de werking efficiënt verloopt. De beste locaties voor lockers zijn afhankelijk van verschillende factoren (Iwan et al., 2015).

De locatie moet in een goede buurt zijn, op het dagelijkse pad van de buurtbewoners. Zo hebben de klanten de kans om het pakket op te halen wanneer ze terugkomen van het werk. Hetzelfde geldt voor studenten, zij moeten de mogelijkheid hebben om hun pakket op te halen op de terugweg van school. Dit is een zeer belangrijke factor in de beslissing van de locatie. Wanneer dit niet het geval zou zijn, zouden de klanten geen/of minder gebruik maken van de lockers (Lee et al., 2019).

Verder is het ook belangrijk dat de toegankelijkheid van de lockers afzonderlijk wordt bekeken vanuit het standpunt van de klanten en de koeriers. Voor de klanten moet dit vlot bereikbaar zijn met de wagen, de fiets of het openbare vervoer. De aanwezigheid van een goede bereikbaarheid zal ervoor zorgen dat het meer gebruikt wordt. Voor de leveranciers is het belangrijk dat de toegangswegen en parkeerplaatsen vlot bereikbaar zijn. Ook de aanwezigheid van congestie in de regio kan hier een sterke invloed op hebben (Lee et al., 2019).

De locaties die het meest aan deze voorwaarde voldoen zijn:

- lokale hotspots in de buitenwijken;
- voetgangersgebieden met een hoge verkeersdichtheid, dicht bij het stadscentrum;
- winkelcentra en parkings van supermarkten;
- bus- en treinstations;
- tankstations;
- gebieden met veel bedrijven.

(Iwan et al., 2015).

De sterke groei van de e-commerce legt steeds meer druk op de koeriers die het pakket aan de eindklant moeten bezorgen. Dit heeft op zijn beurt een sterke invloed op het verkeer en het congestieprobleem. Er zijn reeds verschillende alternatieve leveringsmethodes, maar het gebruik van lockers kent de sterkste groei en wordt wereldwijd geïmplementeerd (Iwan et al., 2015). Maar ook de technologische ontwikkelingen zullen een sterke rol spelen in de manier waarop koeriers hun pakketten bij de klant zullen afleveren.

### 2.2.5 Samenvattende tabel

De volgende tabel geeft een vergelijking weer tussen de verschillende afleveringsmethodes (Allen et al., 2007).

	<b>Levering met klant aanwezig</b>	<b>Receptiebox of leveringbox</b>	<b>Toegang tot woning of bijgebouw</b>	<b>Lockers</b>	<b>Afhaalpunt</b>
<i>Wie voert de last mile uit?</i>	Koerier	Koerier	Koerier	Klant	Klant
<i>Klant aanwezig?</i>	Ja	Nee	Nee	Nee	Nee
<i>Aantal mislukte leveringen</i>	Hoog	Zeer klein	Zeer klein	Zeer klein	Zeer klein
<i>Moment van de levering</i>	Vaste uren	Werkuren van de koerier	Werkuren van de koerier	Werkuren van de koerier	Openingsuren afhaalpunt
<i>Tijdstippen waarop goederen kunnen worden opgehaald</i>	Niet van toepassing	24u/ 24u	24u/ 24u	24u/ 24u	Openingsuren afhaalpunt
<i>Tijd om pakket in ontvangst te nemen door klant</i>	Geen	Heel kort	Heel kort	Kort-lang	Kort-lang
<i>Drop-off tijd</i>	Lang	Kort	Kort	Heel kort	Heel kort
<i>Initiële investering</i>	Laag	Hoog/medium	Medium	Medium	Laag/medium
<i>Leveringskost</i>	Hoog	Laag	Laag	Laagste	Laagste

Tabel 1: Vergelijking verschillende afleveringsmethodes en afleverlocaties (Allen et al., 2007)

Uit tabel 1 kan afgeleid worden dat het aantal mislukte leveringen sterk kan dalen door het afleveren op een alternatieve locatie of via een alternatieve methode. Op deze manier moet de koerier vaak wel een extra handeling uitvoeren, maar zo vermijdt deze ook extra handelingen gerelateerd aan het niet kunnen afleveren van het pakket. Het reduceren van het aantal mislukte leveringen wordt haalbaar omdat voor verschillende methoden de klant niet aanwezig dient te zijn.

Het voordeel van een receptiebox of leveringbox, een locker of het verlenen van toegang tot de woning of een bijgebouw is het tijdstip van de levering. Deze methodes zorgen voor een grotere flexibiliteit in de rittenplanning van de koeriers. Er moet nog steeds rekening gehouden worden met de voorkeuren van de klanten maar deze dienen niet aanwezig te zijn op het moment van de levering.

Deze alternatieve methoden hebben ook een invloed op de tijd die de klant nodig heeft om het pakket te ontvangen. Wanneer de klant niet aanwezig is op het moment van de levering, dient deze extra handelingen te stellen om het pakket in ontvangst te nemen. Een voorbeeld van een extra handeling is het zich verplaatsen naar de locatie van de locker of het afhaalpunt.

Een belangrijk aspect is de leveringskost. Een levering wanneer de klant afwezig is, wordt geassocieerd met een hogere kost. Dit komt door de handelingen en de tijd die de koeriers investeren in het afleveren van het pakket.

### **2.2.6 Levering met drones**

Het gebruik van autonome, onbemande luchtvoertuigen startte als een militaire toepassing. Ondertussen hebben drones de weg gevonden naar de commerciële sector (Murray & Chu, 2015). De snelle technologische ontwikkelingen van drones zorgt voor een evolutie in het vervoeren van pakketten naar klanten. Dit vervoermiddel heeft de mogelijkheid om de kosten en de tijd voor het leveren van een pakket aanzienlijk te doen dalen. Veel grote bedrijven tonen interesse in het leveren via drones. In 2013 startte Amazon reeds met Prime Air, een service die drones gebruikt om pakketten te leveren aan klanten van Amazon. Ook DHL startte reeds met een drone project, de Parcelopter (Dorling et al., 2016).

Een groot probleem om het leveren via drones als de standaard te laten gelden, is de wetgeving rond het luchtverkeer. Verder is er ook nog het bereik van de drones. Om deze verre leveringen te laten doen, moet het bereik ervan nog stijgen. De drones van Amazon kunnen voorlopig maar 10 mijl afleggen, dit zorgt ervoor dat het distributiecentrum zeer dicht bij de klanten moet liggen. Verder hebben de drones ook steeds een beperking in het gewicht dat ze kunnen vervoeren (Murray & Chu, 2015).

Voorlopig lijken drones eerder gebruikt te gaan worden voor het leveren van dringende medische hulp of voedsel in rampgebieden. Voor een grootschalige toepassing op commercieel vlak is het echter nog te vroeg. Het is wachten op een koeriersbedrijf dat als eerste durft om hier een grote investering in te doen (Dorling et al., 2016).

Het gebruik van drones heeft wel een groot potentieel en kan ook bestaande problemen van koeriers oplossen. Zo zullen er minder vrachtwagens nodig zijn waardoor de overlast op verschillende wegen aanzienlijk zal dalen. Het dalen van het aantal vrachtwagens brengt ook minder uitstoot met zich mee. De drone werkt ook grotendeels autonoom, dit wil zeggen dat er geen bestuurder meer nodig is. Dit kan de kosten van de levering drukken.

Deze alternatieve levermethoden hebben samen nog een overkoepelend probleem voor de koeriers. De klanten verwachten nog steeds dat het bestelde pakket op een gevraagde datum, binnen een bepaald tijdsvenster geleverd wordt. Dit zorgt bij koeriers voor heel wat problemen omtrent de rittenplanning. Om aan de wensen van de klant te voldoen proberen koeriers de tijdsvensters zo smal mogelijk te houden. In de praktijk is dit niet makkelijk en zo blijven de tijdsvensters toch vaak breder dan gewenst.



## **2.3 Rittenplanningsprobleem met tijdsvensters (VRPTW)**

### **2.3.1 Algemene definitie rittenplanningsprobleem (VRP)**

Het rittenplanningsprobleem of 'vehicle routing problem' (VRP) werd voor het eerst geïntroduceerd door Dantzig en Ramser in het jaar 1959. Initieel werd het voorgesteld als een probleem van tankwagens die verschillende tankstations moesten bevoorraden. Hier werd telkens naar de kortste route gezocht (Purnamasari & Santoso, 2018).

Een algemeen rittenplanningsprobleem of 'Vehicle Routing Problem' (VRP) vertrekt vanuit een gegeven set van klanten en een vloot voertuigen. De doelstelling is om de vraag naar transport tegen een minimale kost uit te voeren. Er wordt een rittenplanning gemaakt voor de vloot waarin bepaald wordt welk voertuig welke klant zal bedienen. Elke rit wordt uitgevoerd door één enkel voertuig en start en eindigt steeds bij hetzelfde depot. Zo wordt er voldaan aan de wensen van de klant en de operationele beperkingen (Toth & Vigo, 2014).

Het winkelen via het internet, de e-commerce, evolueert zeer snel. Deze sector verandert alle aspecten van online aankopen en verkopen. De koerier voert de logistieke activiteit uit die het afgewerkte product naar de eindklant vervoert. Het transport is essentieel en is ook de grootste kostencomponent. Transport bedraagt ongeveer 50% tot 60% van de totale logistieke kosten (Purnamasari & Santoso, 2018). De kost van transport kan onderverdeeld worden in twee soorten: vaste kosten en variabele kosten. Vaste kosten worden gezien als de investering in de vloot en de administratie ervan. Variabele kosten zijn de brandstof, lonen van werknemers en onderhoud. De classificatie van deze kosten kan echter wel verschillen van bedrijf tot bedrijf (Goetschalckx, 2011).

Naast deze transportkosten is ook de timing van het transport van cruciaal belang. Koeriers streven steeds naar een zo kort mogelijke procestijd van het transport. Het doel is om de transportkosten minimaal te houden. Wanneer de transportkost daalt, kan de prijs van de verkochte goederen of diensten ook dalen. Dit is nodig om meer en gemakkelijker te kunnen concurreren (Purnamasari & Santoso, 2018).

Een rittenplanningsprobleem heeft steeds te maken met een reeks beperkingen die voldaan moeten worden:

- de route start en eindigt steeds aan het depot;
- elke klant moet één keer bezocht worden met een beschikbaar voertuig;
- er wordt aangenomen dat de vloot homogeen is en een bepaalde capaciteit heeft. Zo mag de vraag van de consumenten op de afgelegde route de capaciteit niet overschrijden;
- als de capaciteit van het voertuig bereikt is, zal de volgende klant bediend worden door een ander voertuig of op een ander tijdstip.

(Purnamasari & Santoso, 2018).

Dit algemene rittenplanningsprobleem wordt steeds uitgebreid door verschillende varianten te maken. Deze varianten worden vooral geïnspireerd door realistische kenmerken. Een standaard variant is het rittenplanningsprobleem met een capaciteitsbeperking. Deze beperking wordt in bijna elk rittenplanningsprobleem opgenomen. Een homogene vloot van voertuigen zal de klanten bevoorraden vanuit een centraal depot. Elk voertuig heeft dezelfde capaciteit en elke klant heeft een bepaalde vraag die voldaan moet worden. Verder wordt er een kostenmatrix opgesteld die de kosten weergeeft tussen de verschillende knooppunten in het netwerk. De kosten geven meestal de afstand, de reistijd en het aantal voertuigen weer. Bij dit rittenplanningsprobleem wordt elke klant bevoorrad door één voertuig. Verder start en eindigt elk voertuig aan het depot en kan dit voertuig maar één keer stoppen per klant. Tot slot kan het voertuig niet zwaarder geladen worden dan de maximumcapaciteit (Caceres-Cruz et al., 2014).

### **2.3.2 Varianten rittenplanningsprobleem**

- Rittenplanningsprobleem met tijdsvensters (VRPTW): Er wordt gewerkt met een tijdsinterval waarbinnen een bepaalde klant bediend moet worden. De dimensie tijd bevat hier de reistijd en de servicetijd voor elke klantenlocatie. Er kan ook gewerkt worden met meerdere tijdsvensters per klant. Verder kunnen deze tijdsvensters ook flexibel gemaakt worden door het aanrekenen van extra kosten.
- Asymmetrische kostenmatrix (AVRP): Dit wordt voorgesteld als een rittenplanningsprobleem waarbij de kost voor de verplaatsing van klant  $i$  naar klant  $j$  verschillend is van de kost van de verplaatsing van klant  $j$  naar klant  $i$ .
- Open rittenplanningsprobleem (OVRP): De geplande routes kunnen op andere punten eindigen, verschillend van de locatie van het depot.

- Heterogene vloot (HVRP): Dit komt voor wanneer het koeriersbedrijf verschillende soorten voertuigen gebruikt voor het leveren van pakketten. De routes zullen aangepast worden aan de capaciteit van elk voertuig. Hier wordt rekening gehouden met de kosten voor het aantal voertuigen.
- Meerdere depots (MDVRP): Dit komt voor wanneer een bedrijf meerdere depots heeft van waaruit ze de klanten kunnen bevoorraden. Hierdoor kunnen er routes ontstaan met verschillende start- en eindpunten.
- Periodieke levering (PVRP): Hier worden de klanten bevoorradt op verschillende dagen terwijl dit normaal dagelijks gepland is. Klanten hebben verschillende leveringsfrequenties.
- Afhaling en levering (PDVRP): Elke klant wordt geassocieerd met twee hoeveelheden. De eerste hoeveelheid is de vraag van de klant en de tweede hoeveelheid is de hoeveelheid die opgehaald wordt, en teruggebracht naar het depot. Dit wordt toegevoegd aan de capaciteitsbeperking van de voertuigen. Zo mag op geen enkel punt op de route de maximumcapaciteit overschreden worden, ook niet na het ophalen van goederen.
- Gesplitste levering (SDVRP): Via deze weg kan eenzelfde klant bevoorradt worden door meerdere voertuigen. Dit komt voor als dit de totale kost kan doen dalen. Deze variant is nodig voor bestellingen waarvan de hoeveelheid groter is dan de maximumcapaciteit van het voertuig.
- Stochastisch rittenplanningsprobleem: Hier wordt rekening gehouden met een factor van onzekerheid. Zo kan er onzekerheid zijn over de vraag van de klant, over de servicetijd of over de afstand in tijd tussen verschillende klanten.
- Groen rittenplanningsprobleem (GVRP): Dit is een variant die rekening houdt met verschillende milieuaspecten tijdens het optimalisatieproces. Zo kan er rekening gehouden worden met CO<sub>2</sub>-uitstoot, vervuiling, verspilling en geluidsoverlast.

(Caceres-Cruz et al., 2014)

Er bestaan veel verschillende varianten van het rittenplanningsprobleem. In de praktijk zal er vaak een combinatie van de verschillende varianten gebruikt worden om zo tot een zo goed mogelijke rittenplanning te komen. De focus ligt echter op het rittenplanningsprobleem met tijdsvensters (VRPTW).

### **2.3.3 Oplossingsstrategieën**

Voor dit soort problemen kunnen er oplossingen gezocht worden via verschillende soorten oplossingsmethoden. Een eerste benadering die vaak gebruikt wordt is een heuristische benadering. Een heuristisch algoritme lost een probleem relatief snel en efficiënt op. Het wordt gebruikt omdat er geen exacte oplossing mogelijk is. Het geeft dus een benaderende oplossing, vaak volstaat deze om toe te passen in de praktijk. Ze kunnen nog worden aangevuld met optimalisatiealgoritmes om een betere oplossing te bekomen. Deze oplossingsstrategie wordt veel gebruikt omdat het vooral snel is en dicht bij de beste oplossing ligt.

Een andere manier om een VRPTW te benaderen is met 'Mathematical Programming'. Dit is een oplossingsstrategie die zorgt voor een wiskundige optimalisatie van het te benaderen probleem. Het bestaat uit een doelfunctie, wat er bereikt moet worden, en een reeks beperkingen waaraan de oplossing moet voldoen. Bij deze probleemstelling gaat het over beperkingen zoals capaciteit van het voertuig, de afstand van de route en de beschikbare tijd.

Een laatste en veelgebruikte benadering is een metaheuristiek. Deze methode wordt gezien als een hoger niveau van een gewone heuristiek. Het kan gebruikt worden voor een breed gamma aan optimalisatieproblemen. Het kan niet verzekeren dat er een optimale oplossing gevonden kan worden. Het wordt vaak gebruikt omdat het kan werken met incomplete of imperfecte informatie.

### **2.3.4 Algemene definitie VRPTW**

Een van de eerste oplossingsmethoden voor het rittenplanningsprobleem met tijdsvensters werd aangereikt door Kolen et al., in 1987. Elke klant heeft een tijdsvenster waarbinnen deze bediend moet worden. Deze tijdsvensters ontstaan door de verkeersbeperkingen in steden op bepaalde momenten van de dag. Verder moest er rekening gehouden worden met tijdsvensters door de bijzondere aard van de goederen die geleverd moeten worden.

In de probleemstelling met tijdsvensters wordt het plannen van de ritten beperkt door de tijdsvensters die klanten beschikbaar stellen voor de koerier. De klanten verwachten steeds dat zij bediend worden in het door hen opgegeven tijdsvenster. Elke route wordt beschreven met een bepaalde kost en reistijd. Hier is het onwaarschijnlijk dat de snelste route ook steeds de goedkoopste route is (Ben Ticha et al., 2017).

Het rittenplanningsprobleem met tijdsvensters wordt ook het Vehicle Routing Problem with Time Windows (VRPTW) genoemd. Er wordt vertrokken vanuit het klassieke rittenplanningsprobleem waarbij de klant geassocieerd wordt met een bepaalde vraag. Verder is er een vloot met beperkte capaciteit. Naast de capaciteit wordt een tijdsvenster toegevoegd aan elke klant. De koerier moet de klant bezoeken in het vooropgestelde tijdsvenster. Het is toegelaten om vroeger op de locatie van de klant te arriveren dan het tijdsvenster aangeeft. Als dit voorkomt zal de koerier wachten tot het tijdsvenster zich opent om vervolgens de klant te bedienen. Het is echter niet toegelaten om later dan het opgegeven tijdsvenster te arriveren (El-Sherbeny, 2010).

Deze variant wordt opgelost met een multi-objectief doel. Dit wil zeggen dat er meerdere doelen worden vooropgesteld vooraleer het probleem oplost wordt. De volgende doelstellingen worden beschreven:

- Het minimaliseren van de totale kost.
- Het minimaliseren van de afgelegde afstand of reisduur.
- Het minimaliseren van het aantal voertuigen dat nodig is om de klanten te bedienen.

(Toth & Vigo, 2014)

Deze doelstellingen kunnen verder uitgebreid worden:

- De gebruikte voertuigen: het aantal, ingenomen laadcapaciteit.
- De tijd: totale duur van routes, wachttijden, arbeidstijd.
- Flexibiliteit van de routes.

(El-Sherbeny, 2010).

### **2.3.5 Varianten op rittenplanningsprobleem met tijdsvensters (VRPTW)**

Deze varianten op het rittenplanningsprobleem met tijdsvensters zijn in sommige gevallen te vergelijken met het algemene rittenplanningsprobleem. Door het toevoegen van extra beperkingen of eigenschappen kunnen de volgende varianten afgeleid worden:

- Niet- identieke voertuigen: Voertuigen kunnen op meerdere manieren verschillen. Het meest voor de hand liggende verschil is de capaciteit van het voertuig. Verder verschillen deze nog van transportkosten, reistijden en tijdsvensters of andere karakteristieken.
- Meerdere tijdsvensters: In het klassieke VRPTW beschikt elke klant over één tijdsvenster waarbinnen hij bediend moet worden. Hierdoor ontstaat de mogelijkheid dat de tijdsvensters van de te bedienen klanten elkaar niet opvolgen. Wanneer de koerier arriveert tussen twee tijdsvensters, moet deze wachten tot het begin van het volgende tijdsvenster.
- Flexibele tijdsvensters: Het kan dat de koerier, afhankelijk van de servicetijd van de klant, een kost aanrekent voor bepaalde tijdsvensters. Het efficiënt oplossen van een rittenplanningsprobleem met tijdsvensters met extra kost blijkt moeilijk te zijn.

(El-Sherbeny, 2010).

## **2.4 Flexibele en vaste tijdsvensters**

Het beschikbaar stellen van tijdsvensters wordt gezien als een aspect van klantenservice. De koerier gaat zich aanpassen aan de beschikbaarheid van de klant om aan de wensen te voldoen. Tijdsvensters kunnen zowel flexibel als vast zijn. Een flexibel tijdsvenster laat toe om het te overschrijden maar dan is er wel een extra kost aan gekoppeld. Door een flexibel tijdsvenster kan de koerier zowel te vroeg als te laat bij de klant arriveren. Een vast tijdsvenster laat het niet toe om te laat te arriveren. De koerier mag bij het gebruik van een hard tijdsvenster wel te vroeg arriveren en wachten tot het begin van het tijdsvenster (Tas et al., 2014).

Een model dat gebruik maakt van flexibele en vaste tijdsvensters wordt vaak opgelost via een metaheuristiek. De doelfunctie bestaat uit het minimaliseren van de totale transportkost en service kost. De servicekosten komen voor wanneer de koerier de vooropgestelde tijdsvensters overtreedt (Tas et al., 2014).

Het rittenplanningsprobleem met vaste tijdsvensters heeft zeer strakke reistijden voor de koerier. Echter is de reistijd vaak onzeker door de verschillende stochastische elementen zoals de weersomstandigheden, congestie, file en andere omstandigheden. Het probleem van vaste tijdsvensters kan benaderd worden door robuuste optimalisatie. Via deze manier wordt het model bestand tegen kleine variantie. Op deze manier wordt er nog steeds een geldige oplossing gevonden ondanks wijzigingen van onzekere variabelen (Yang et al., 2014).

Het model van vaste tijdsvensters met een robuuste oplossing bestaat uit verschillende elementen. Er wordt vertrokken vanuit één distributiecentrum. De koerier vertrekt en eindigt zijn route bij dit distributiecentrum. Verder is er een set van klanten die verbonden zijn door verschillende routes en afstanden. De koerier zal elke klant één keer bezoeken. Verder hebben de voertuigen van de koerier een maximumcapaciteit die niet overschreden mag worden. Wanneer de koerier het depot verlaat, zal er een vaste kost aangerekend worden. De totale reistijd wordt weergegeven door de onzekere reistijd en de gemiddelde reistijd. Er wordt verwacht dat de koerier binnen het tijdsvenster bij de klant arriveert. Wanneer deze te vroeg arriveert, zal er een kost meegerekend worden voor het wachten. Als de koerier te laat arriveert, kan de klant niet meer bediend worden en verdwijnt zijn vraag. Het doel is om de totale kost te minimaliseren (Yang et al., 2014).

Het rittenplanningsprobleem met vaste tijdsvensters is belangrijk in onderzoek maar het kan vaak niet toegepast worden in de praktijk. Het wordt wel belangrijker door het belang van de just-in-time leveringen (Figliozi, 2010). Er zal vaker gewerkt worden met de variant van flexibele tijdsvensters aangezien hier wel latere leveringen toegelaten zijn.

Het gebruik van flexibele tijdsvensters komt in de praktijk vaker voor. De tijdsvensters mogen dan overschreden worden maar worden wel beboet. Op deze manier wordt een flexibele versie van het rittenplanningsprobleem met vaste tijdsvensters gecreëerd. De flexibele tijdsvensters hebben verschillende toepassingen:

- flexibele tijdsvensters kunnen leiden tot het besparen van kosten, zonder in te boeten aan klanttevredenheid;
- vaak zijn vaste tijdsvensters overbodig;
- de werkelijke reistijden kunnen niet juist gekend zijn;
- het kan gebruikt worden om het model met vaste tijdsvensters op te lossen als de boetes correct worden aangepast.

(Figliozi, 2010).

Flexibele tijdsvensters worden vaak gebruikt aangezien de overtredingen meestal gewoon geaccepteerd worden door de klanten. Desondanks is dit niet wenselijk en is het een reden om de tijdsvensters te sturen. Het toch overschrijden wordt in de modellen aangeduid door een extra kost, deze wordt toegevoegd aan de totale kost van de route. De koerier moet wel steeds de afweging maken tussen de kosten van de route en het niveau van de klantenservice. Vaak krijgt het besparen van kosten op de route de voorkeur, aangezien klanten flexibel omspringen met overschrijdingen van de tijdsvensters (Salani & Battarra, 2018).

De koerier zal in de rittenplanning steeds proberen om de tijdsvensters zo weinig mogelijk te overschrijden. Hier wordt de aanname gemaakt dat het niet overschrijden van het tijdsvenster leidt tot een grotere klanttevredenheid (Salani & Battara, 2018).

### **2.4.1 Het aantal geslaagde leveringen laten stijgen**

Het aanbieden van een goede klantenservice is een sterke troef voor elke koerier. Klanten stellen steeds hogere eisen en verwachten kortere levertermijnen. Het tijdstip van de optimale levering evolueerde ook. Eerst was het een levering op de juiste dag die de klantenwens vervulde, ondertussen is het enkel een levering op het juiste tijdstip dat de klant nog tevreden kan houden. Een levering op het juiste tijdstip ofwel een succesvolle levering komt voor wanneer de klant thuis is om het pakket te ontvangen wanneer de koerier arriveert. Als de klant thuis is, zorgt dit ervoor dat deze zijn pakket niet elders moet ophalen of dat de koerier niet moet terugkeren naar de klant (Florio et al., 2018).

Het afleveren bij de eerste poging heeft ook een positief effect op de operationele activiteiten van de koerier. Zo moet deze niet terugkeren om zo een tweede poging te ondernemen. Dit zorgt voor een korter totaal afgelegde afstand en zo moet de klant niet opnieuw verwerkt worden in de rittenplanning. Verder moet de koerier geen extra handelingen stellen met het pakket. Ook het afleveren op een alternatieve plaats of locatie is niet meer nodig op deze manier (Florio et al., 2018).

Een keuze heeft de klant vaak niet als het gaat over tijdsvensters. Wanneer de klant wel inspraak heeft, leidt dit vaak tot extra beperkingen voor de koerier. De rittenplanning wordt nog complexer en de operationele kost blijft stijgen. Naast tijdsvensters kan er ook gebruik gemaakt worden van beschikbaarheidsprofielen. Via historische data over al dan niet geslaagde leveringen kunnen deze profielen opgesteld worden. Het doel van een model met beschikbaarheidsprofielen is het maximaliseren van het aantal geslaagde leveringen (Florio et al., 2018).

Het niet aanwezig zijn van de klant tijdens de levering blijft een van de grootste onzekerheden voor koeriers. Het laten stijgen van het aantal geslaagde leveringen kan op verschillende manieren. Een eerste manier is het leveren op een alternatieve locatie, dit heeft verschillende voordelen:

- er ontstaat een hogere klanttevredenheid;
- de veiligheid van het pakket wordt gegarandeerd;
- minder afgelegde kilometers door het vermijden van terugkeren naar de klant;
- lagere invloed op het milieu.

(van Duin et al., 2015).

Er ander manier is het veranderen van de tijd van de levering om ervoor te zorgen dat deze succesvol is. Vaak geven koeriers geen inspraak in de tijdsvensters die klanten krijgen toegewezen. Er wordt vaak de afweging gemaakt tussen een efficiënte route en de kost hiervan en de klantenservice. Koeriers bieden vaak tijdsvensters aan naargelang de locatie waarop de klant zich bevindt. Dit wordt gedaan om regionale verschillen in de vraag op te vangen (van Duin et al., 2015).



Verder kan de koerier ook beslissen om de route te veranderen. De efficiëntie van een route is sterk gerelateerd aan de aangeboden tijdsvensters. Wanneer de route gewijzigd wordt terwijl het tijdsvenster gelijk blijft voor een mislukte levering, zal de levering opnieuw mislukken. Het grootste verschil is dat een wijziging in de route kan leiden tot een optimalisatie van de efficiëntie in de levering. Tot slot kan een verandering in het gedrag van de consument ook leiden tot meer succesvolle leveringen. Zo kan een verandering van het tijdsvenster reeds een oplossing bieden. Verder kan de klant aangemoedigd worden om thuis te blijven. Dit kan bereikt worden door een gunstigere prijs aan te bieden (van Duin et al., 2015).

#### 2.4.2 Het opstellen en sturen van tijdsvensters

De door de klant gevraagde tijdsvensters hebben een grote impact op de planning en de efficiëntie van de rittenplanning. De gewenste tijdsvensters kunnen bijvoorbeeld leiden tot een grotere afstand van de geplande rit dan wanneer de mogelijkheid bestaat om de geografische vraag te clusteren. Wanneer bepaalde levertijden populairder zijn dan andere is er sprake van een piekmoment. Een van de problemen bij piekmomenten is de grootte van de vloot voertuigen. Op drukke momenten zal er een grote vloot nodig zijn terwijl op minder populaire momenten een deel van de vloot zal stilstaan. Voor koeriers is het dan ook zeer belangrijk om incentives te ontwikkelen en zo de vraag van de tijdsvensters te kunnen sturen. De incentive kan zowel positief als negatief zijn voor de klant, in de vorm van een korting of een extra kost voor bepaalde tijdsvensters (Yang et al., 2016).

Potentiële oplossingen om tijdsvensters te sturen worden onderverdeeld in 2 groepen, namelijk de statische en dynamische methoden. De statische methoden bestaan uit gedifferentieerde tijdsvensters en gedifferentieerde prijzen. De dynamische methoden bestaan uit dynamische tijdsvensters en dynamische prijzen (Yang et al., 2016).

	Toewijzing tijdsvenster	Prijszetting
Statisch	Gedifferentieerde toewijzing	Gedifferentieerde prijszetting
Dynamisch (op het moment zelf, op basis van bestellingen)	Dynamische toewijzing	Dynamische prijszetting

Tabel 2: Classificatie van sturing tijdsvensters (Yang et al., 2016)

Tabel 2 geeft een overzicht van de groepen en categorieën. De statische methode wordt opgesteld op basis van data van forecasts. Deze methode kan gebruikt worden voor het bepalen van het aantal tijdsvensters dat beschikbaar gesteld wordt, de breedte van deze tijdsvensters en het verrekenen van kortingen in de daluren om de piekmomenten af te vlakken. In de praktijk moet deze methode steeds worden bijgesteld wanneer er nieuwe data beschikbaar zijn waardoor deze dynamisch wordt. De dynamische methode werkt via real-time gegevens en op basis van bestellingen. Praktisch betekent dit dat het aantal tijdsvensters, de breedte van de tijdsvensters en kortingen worden berekend op basis van de gegevens op dat bepaalde moment. Hierbij wordt rekening gehouden met de geplaatste orders en de orders die nog verwacht worden (Yang et al., 2016).

### **2.4.3 Gedifferentieerde tijdsvensters**

Een eerste methode is het aanbieden van gedifferentieerde tijdsvensters. De koerier biedt vaak vooropgestelde tijdsvensters aan de klant aan. De meeste tijdsvensters worden over een tijdspanne van een week aangeboden. Het niveau van de klantenservice zal bepaald worden door het aantal beschikbare tijdsvensters en de breedte ervan. De voorkeuren van klanten kunnen wel sterk variëren, maar hoe groter het aanbod van de koerier, hoe aantrekkelijker deze wordt (Agatz et al., 2013).

De koerier zal de tijdsvensters afstellen op de efficiëntie van de routes. De keuzes van tijdsvensters in minder stedelijke gebieden zijn vaak beperkt om zo de vraag te concentreren. Zo zal de totaal afgelegde afstand geminimaliseerd worden. Vooraleer de tijdsvensters opgesteld worden moeten de klanten eerst geografisch gegroepeerd worden. Vervolgens zal het aantal bezoeken per periode voor die groep bepaald worden. Hierna zullen voor elke groep tijdsvensters opgesteld worden. Deze variëren per groep naargelang de voorkeuren, zoals beschikbaarheid en avondleveringen. Hoe breder de tijdsvensters zijn, hoe flexibeler de koerier zijn rittenplanning kan opstellen. Wanneer de tijdsvensters smaller zijn, zal de koerier een strakkere rittenplanning moeten opstellen (Agatz et al., 2013).

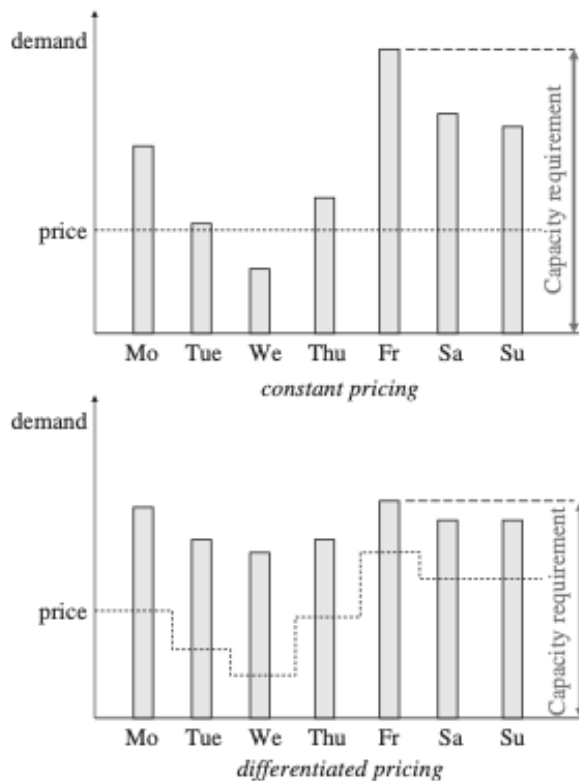
De gedifferentieerde tijdsvensters zijn puur gebaseerd op forecasts, in die zin dat deze voorwaarden stellen voordat de orders ontvangen worden. Er ligt echter nog een opportuniteit door middel van interactie met de klant tijdens het aankoopproces. Hier gaat een gedifferentieerd tijdsvenster over in een dynamisch tijdsvenster. Een simpel voorbeeld hiervan is het sluiten van een tijdsvenster wanneer de capaciteit bereikt is. Hier ontstaat de mogelijkheid om bepaalde tijdsvensters te reserveren voor vaste klanten of voor klanten die vaak bestellingen plaatsen. Dynamische tijdsvensters duwen klanten weg voor bepaalde opties (Agatz et al., 2013). Dit kan ook leiden tot een sterke positie voor het bedrijf. Zo heeft het bedrijf de mogelijkheid om voorgestelde tijdsvensters van klanten te accepteren of te weigeren. Dit is in de praktijk niet wenselijk, aangezien zo de inspraak van de klant en de klantenservice sterk verminderen (Yang et al., 2016).

#### **2.4.4 Gedifferentieerde prijzen**

De factor die de grootste invloed uitoefent op de klanten is de prijs van de levering. Het beschikbaar stellen van een goede prijs voor een bepaald tijdsvenster, kan dit zeer aantrekkelijk maken voor de klant. Een eerste manier is via gedifferentieerde prijzen. Wanneer verwacht wordt dat de klant aanwezig is, zullen tijdsvensters na de werkuren of in de weekends aantrekkelijker zijn. Het even duur maken van alle tijdsvensters zorgt voor een sterk onevenwicht in de vraag. Wanneer de capaciteit van de koerier beperkt is, betekent dit dat er een capaciteitstekort kan ontstaan op piekmomenten. Daarom zal de koerier korting geven op minder populaire tijdsvensters en zal deze de piekuren duurder maken. Het werkpunt van deze methode is het vinden van een goed evenwicht tussen de kortingen voor rustige momenten en hogere prijzen voor drukke momenten. Kortingen op leveringen beïnvloeden ook vaak het aankoopgedrag van de consument. E-commerce winkels bieden vaak een gratis levering aan vanaf een bepaald aankoopbedrag. Dit zorgt ervoor dat klanten vaak meer kopen dan dat ze nodig hebben (Agatz et al., 2013).

Er zijn andere effecten van prijszetting die minder zichtbaar zijn. Zo kan het aanbieden van een lagere prijs voor de levering tijdens een minder populair tijdsvenster leiden tot een verschuiving van de vraag. Klanten met kleinere bestellingen zijn dan meer geneigd om minder populaire tijdsvensters te kiezen. De prijszetting beïnvloedt niet enkel de tijd van de levering maar ook de breedte van de tijdsvensters. De koerier heeft de mogelijkheid om korting te geven op bredere tijdsvensters. Zo kan deze zijn rittenplanning flexibeler uitvoeren (Agatz et al., 2013).

Een andere manier van prijszetting is via dynamische prijzen. Waar dynamische tijdsvensters nog klanten wegduwen voor bepaalde opties, trekken dynamische prijzen net klanten aan voor bepaalde tijdsvensters. Deze dynamische prijzen weerspiegelen zich vaak in de levertijd. Hier kan de koerier of de klant kiezen binnen de hoeveel dagen deze het pakket bij de klant zal afgeleverd worden. Hoe korter de levertijd, hoe duurder de koerier dit zal maken. Op deze manier maakt de koerier klantensegmenten en zo kan deze afleiden wat bepaalde klanten bereid zijn te betalen voor hun levering. Een andere manier is ook via financiële incentives zoals kortingen. Op deze manier stuurt de koerier de klant naar een bepaald tijdsvenster. Dit komt sterk overeen met dynamische tijdsvensters. Voor de koerier is het belangrijk om deze kortingen goed te timen. Als de klant een duidelijk patroon ziet in de tijdelijke kortingen, zal deze daar ook steeds op anticiperen (Agatz et al., 2013).



Figuur 1: Vergelijking prijzen tijdsvensters (Agatz et al., 2013)

Figuur 1 geeft het verschil weer tussen een vaste prijs voor elk tijdsvenster of voor verschillende prijzen. Voor constante prijzen is er een grote piek in de vraag op vrijdag en in het weekend. Dit is te verklaren doordat de klanten op deze momenten vaker thuis aanwezig zijn om het pakket te ontvangen. Door deze grote piek in de vraag heeft de koerier ook nood aan een grotere capaciteit voor deze momenten. Wanneer er gewerkt wordt met gevarieerde prijzen is het duidelijk te zien dat de vraag meer gespreid wordt. Door de lagere prijzen op sommige dagen, zal de vraag daar aanzienlijk toenemen. Door het spreiden van de vraag door de week heeft de koerier een kleinere maximumcapaciteit nodig.

Koeriers streven naar een zo efficiënt mogelijke rittenplanning. Om tot de meest efficiënte rittenplanning te komen zijn er drie dingen waarmee koeriers een directe impact kunnen hebben. Een eerste optie is klanten sturen naar rustige momenten in de dag. Dit zorgt voor meer spreiding en evenwicht waardoor er meer flexibiliteit gecreëerd wordt in de rittenplanning. Een tweede mogelijkheid is het sturen van de tijdsvensters naar momenten waarop de klant thuis is. Op deze manier vermijdt de koerier de kosten van de extra handelingen wanneer de klant afwezig is op het moment van de levering. Een derde optie voor koeriers is het sturen van klanten naar bredere tijdsvensters. Op deze manier komen de koeriers tot een efficiëntere rittenplanning die veel flexibeler is. Deze derde methode zal ook in het praktijkonderzoek gebruikt worden.

## **2.5 Samenvatting literatuurstudie**

Door de sterke groei in de e-commerce worden koeriers met heel wat uitdagingen geconfronteerd. Koeriers ervaren een stijgende vraag naar de levering van pakketten, samen met een hogere verwachting van het serviceniveau. Voor koeriers is het belangrijk dat ze zo veel mogelijk pakketten bij de eerste poging reeds kunnen afleveren. Indien dit niet het geval is, moeten er extra handelingen gesteld worden en moet de koerier eventueel terugkeren op een ander moment. Om het aantal geslaagde leveringen te laten stijgen, bestaan er enkele alternatieve afleveringsmethodes en afleverlocaties. De koerier kan het pakket afleveren in een receptiebox of leveringbox. Dit is een investering die de klant zelf moet dragen, maar dit zorgt er wel voor dat het pakket op elk tijdstip kan afgeleverd worden en dat de klant hiervoor niet aanwezig moet zijn.

Verder kan er ook gekozen worden om de koerier toegang te geven tot de woning of een bijgebouw van de klant. Dit is echter een veiligheidsoverweging die de klant zelf moet maken. Verder bestaat er ook een systeem van lockers of een afhaalpunt waar de klant zijn pakket kan laten leveren. Bij deze twee alternatieven wordt er wel een inspanning van de klant zelf verwacht, aangezien deze een verplaatsing moet doen om het pakket op te halen.

Een belangrijk aspect is het tijdstip waarop de pakketten geleverd dienen te worden. Deze tijdstippen worden in tijdsvensters gegoten. Deze tijdsvensters hebben een beginuur en een einduur en geven de tijdsruimte weer waartussen een klant beleverd moet worden. Het tijdsvenster is voor elke klant specifiek. In het opstellen van deze tijdsvensters wordt het onderscheid gemaakt tussen flexibele tijdsvensters en vaste tijdsvensters. Flexibele tijdsvensters laten het toe om overschreden te worden, bij vaste tijdsvensters is dit niet het geval.

Voor koeriers is het belangrijk dat zij de voorkeur van de klanten inzake tijdsvensters kunnen beïnvloeden. Wanneer de koerier deze invloed verworven heeft, kan dit leiden tot een efficiëntere rittenplanning. Deze beïnvloeding gebeurt door het aanbieden van verschillende breedtes van tijdsvensters en verschillende prijzen voor deze tijdsvensters.

### **3 Praktijkonderzoek**

In het praktijkonderzoek zal een kwantitatief onderzoek uitgevoerd worden. In dit kwantitatief onderzoek worden verschillende scenario's met tijdsvensters uitgewerkt. Er wordt gevarieerd met verschillende breedtes van deze tijdsvensters. Op deze manier wordt het voor koeriers duidelijk wat de invloed van een versmalling of verbreding van deze tijdsvensters is op de kosten en de afgelegde afstand. Dit onderzoek zal gebruik maken van artificiële data met realistische kenmerken. Een artificiële dataset bestaat uit data die kunstmatig aangemaakt worden. De data bestaan uit een x-coördinaat en een y-coördinaat en maken dus geen gebruik van bestaande adressen. Deze coördinaten van klantenlocaties worden weergegeven in een vlak, zoals in figuur 4. Aan deze data worden realistische kenmerken gegeven. Zo wordt verondersteld dat klanten in meer of mindere mate geclusterd wonen. De data worden verder verwerkt in een reeds bestaande Excel-tool van Erdogan (Erdogan, 2017). Via deze tool zal er een zo goed mogelijke rittenplanning bepaald worden voor verschillende scenario's. Het kunstmatig aanmaken van deze datasets zorgt ervoor dat er verschillende scenario's vergeleken kunnen worden. Zo kunnen er conclusies getrokken worden over situaties met verschillende breedtes van tijdsvensters en verschillende geografische spreiding van de klantenlocaties.

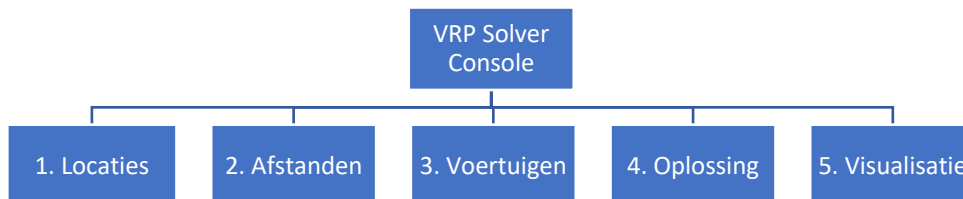
#### **3.1 VRP Spreadsheet Solver**

De VRP Spreadsheet Solver van Erdogan is een Excel-tool die rittenplanningsproblemen kan oplossen en visualiseren. Het kan rittenplanningsproblemen oplossen met databestanden tot 200 klanten. Academics werken vaak met gesofisticeerde algoritmes die in de praktijk niet altijd even gebruiksvriendelijk zijn. Deze uitgebreide algoritmes hebben veel data input nodig en vragen in de praktijk een grotere investering van bedrijven. Deze Excel-tool brengt Excel samen met een publiek geografisch informatiesysteem en metaheuristieken. Het publiek geografisch informatiesysteem in deze tool maakt gebruik van Bing Maps. Via deze weg kunnen de afstanden, rijtijden en mappen van de ritten voorgesteld worden (Erdogan, 2017).

Een metaheuristiek verschilt nog van een klassieke heuristiek. Een klassieke heuristiek, zoals beschreven in sectie 2.3.3, zal stoppen wanneer een lokaal optimum bereikt wordt. Een metaheuristiek doet dit niet en zal trachten dit lokaal optimum te omzeilen door een tijdelijke verslechtering van de doelfunctiewaarde toe te laten. Dit laat vervolgens toe om naar een ander, mogelijk beter lokaal optimum in de zoekruimte te evolueren. De beste van alle beschouwde oplossingen tijdens de zoekprocedure wordt onthouden en uiteindelijk weerhouden. De oplossing van een metaheuristiek is geen garantie op een optimale oplossing maar zal trachten deze zo dicht mogelijk te benaderen (Toth & Vigo, 2014). In dit oplossingsalgoritme is een variant van de Adaptive Large Neighborhood Search (ALNS) opgenomen. Het ALNS werd beschreven door Pisinger en Ropke in 2007. Aan de hand van alternatieve, al dan niet probleemspecifieke zoekoperatoren wordt telkens een bepaald percentage van de klanten verwijderd uit de oplossing, waarna deze klanten achtereenvolgens op basis van een invoegstrategie opnieuw in de oplossing worden toegevoegd. Dit proces wordt iteratief herhaald en de best gevonden oplossing wordt onthouden. Zo is het mogelijk om een eerste oplossing geleidelijk te verbeteren.

De VRP Spreadsheet Solver kan in de praktijk gebruikt worden door verschillende bedrijven in verschillende sectoren en landen. Deze tool is ook zeer nuttig gebleken in de praktijk door de beperkte rekentijden. Verder kan de VRP Spreadsheet Solver gebruikt worden voor meer dan 64 varianten van rittenplanningsproblemen. Deze zijn echter niet allemaal in de praktijk uitgetest (Erdogan, 2017).

### 3.1.1 Gebruik van de VRP Spreadsheet Solver in het onderzoek



Figuur 2: Werking VRP Spreadsheet Solver (Erdogan, 2017)

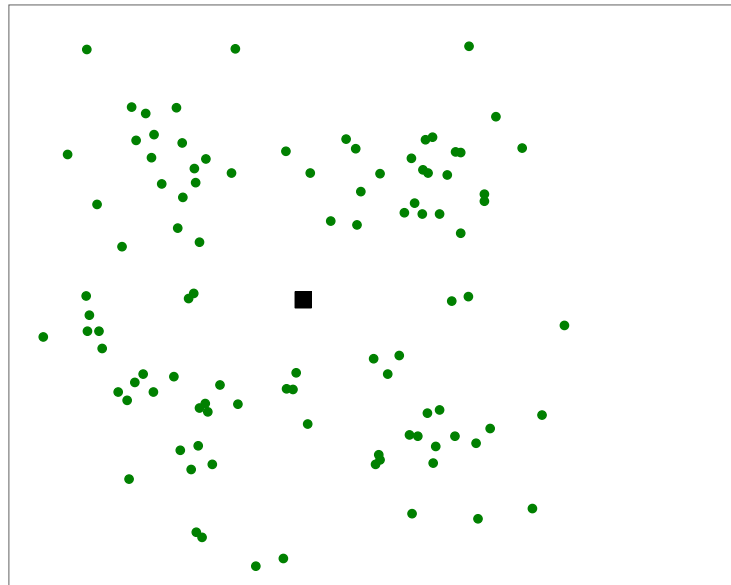
De VRP Spreadsheet Solver bestaat uit verschillende werkbladen, zoals weergegeven in figuur 2. Er is een overkoepelende VRP Solver Console waar info gegeven wordt over de andere werkbladen. Dit werkblad bevat verschillende parameters waaruit gekozen kan worden.

Sequence	Parameter	Value	Remarks
<b>0.Optional - GIS License</b>	Bing Maps Key	AiXSEvuZ3zLZMRkA-SyYCK1R2INIA7uI	You can get a free trial key at <a href="https://www.bingmapsportal.com/">https://www.bingmapsportal.com/</a>
<b>1.Locations</b>	Number of depots	1	[1,20]
	Number of customers	200	[5,200]
<b>2.Distances</b>	Distance / duration computation	Euclidian distances	Recommendation: Use 'postcode, country' format for addresses
	Bing Maps route type	Fastest	Recommendation: Use 'Fastest'
	Average vehicle speed	45	Not used for the 'Bing Maps driving distances' options
<b>3.Vehicles</b>	Number of vehicle types	1	Heterogeneous VRP if greater than 1
<b>4.Solution</b>	Vehicles must return to the depot?	Yes	Open VRP if no return
	Time window type	Soft	
	Backhauls?	No	If activated, delivery locations must be visited before pickup locations
<b>5.Optional - Visualization</b>	Visualization background	Blank	
	Location labels	{Time window start;Time window end}	
<b>6.Solver</b>	Warm start?	No	
	Show progress on the status bar?	No	May slow down the optimization algorithm
	CPU time limit (seconds)	120	Recommendation: At least 4800 seconds

Figuur 3: VRP Solver Console

Voor dit praktijkonderzoek worden bepaalde aannames gemaakt voor het oplossen van het rittenplanningsprobleem met tijdsvensters. Deze aannames zijn nodig om zo realistisch mogelijke scenario's te creëren. Een eerste aanname is dat er gewerkt wordt met één depot dat centraal gelegen is ten opzichte van de clusters. Van hieruit vertrekken alle voertuigen van de koeriers. Na de rit zullen de koeriers ook steeds terugkeren naar het centrale depot. Verder zal er gewerkt worden met datasets van 100 klanten. De klanten zijn telkens geografisch geclusterd in groepen van 25 klanten.

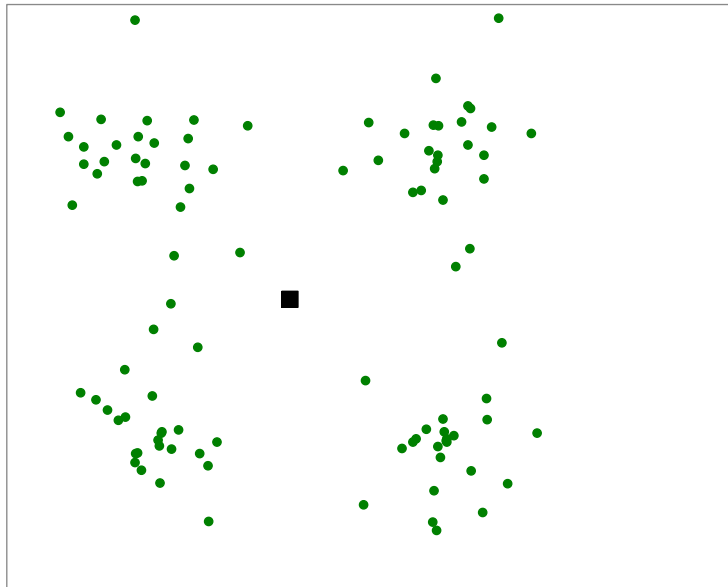
Er zal gewerkt worden met verschillende dichtheden van de geografische spreiding. De datasets hebben een phi-waarde (Cordeau, 1997). Deze waarde geeft aan hoe sterk de clustering in de gebieden is. Er wordt in dit praktijkonderzoek gekozen voor het clusteren van klanten aangezien klanten in de praktijk ook niet random wonen. Er is steeds een concentratie van woonplaatsen. Een basisscenario gaat uit van een phi waarde van 0,50. Verder wordt er gewerkt met een minder sterke clustering met een phi waarde van 0,30, wat geassocieerd wordt met het platteland waar klanten verder verspreid wonen. Ook is er een sterke clustering met een phi-waarde van 0,70, wat geassocieerd wordt met stedelijk gebied waarbij klanten erg geconcentreerd wonen.



*Figuur 4: Clustering met dichtheid 0,30*

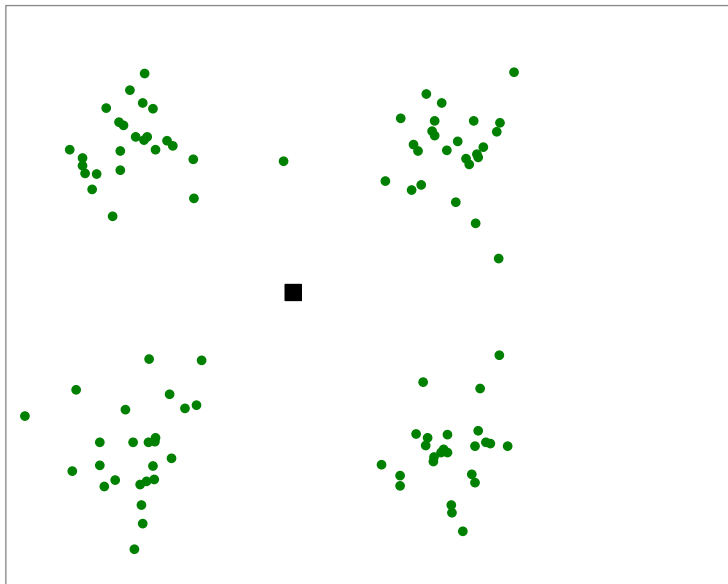
Een voorbeeld van een clusteringsdichtheid van 0,30 is te zien in figuur 4. Hier is te zien dat een zwakke clustering zorgt voor een sterkere spreiding van de klanten. Het zwarte vierkant dat zich in de figuur bevindt, geeft de locatie van het depot weer.





*Figuur 5: Clustering met dichtheid 0,50*

In bovenstaande figuur 5 is een clusteringsdichtheid van 0,50 weergegeven. Deze clusteringsdichtheid wordt beschouwd als het basisscenario. Hier is reeds een sterkere clustering waar te nemen rond de vier clusters.



*Figuur 6: Clustering met dichtheid 0,70*

Een clusteringsdichtheid van 0,70 is weergegeven in bovenstaande figuur 6. Op deze figuur is het duidelijk dat klanten zich zeer kort bij elkaar bevinden in deze clusters.

Verder wordt er bij de afstanden gewerkt met Euclidische afstanden. De Euclidische afstand is de rechtlijnige afstand tussen twee punten op basis van hun x- en y-coördinaten. Voor de gemiddelde snelheid wordt er gekeken naar de sterkte van de clustering. Voor een lage clustering met een phi-waarde van 0,30 wordt er gewerkt met een gemiddelde snelheid van 60 kilometer per uur. Voor een basisscenario met een phi-waarde van 0,50 wordt er gewerkt met een gemiddelde snelheid van 45 kilometer per uur. Voor een sterke cluster met een phi-waarde van 0,70 wordt er gewerkt met een gemiddelde snelheid van 30 kilometer per uur. Deze sterke clustering van 0,70 komt voor in de stad, waar de gemiddelde snelheid lager ligt dan op het platteland, waar een zwakke clustering van 0,30 voorkomt. Deze gemiddelde snelheid geldt ook voor de route van het depot naar elke cluster. Dit is in de praktijk niet het geval. Het is via de tool niet anders mogelijk dan een enkele snelheid te hanteren, maar de invloed op de resultaten is miniem.

Verder zal er gewerkt worden met een homogene vloot. Dit wil zeggen dat er maar één type voertuig is. Voor koeriers zal dit een bestelbus zijn. Het minimaliseren van de vlootgrootte is niet opgenomen in de doelfunctie, maar er wordt wel verondersteld dat de koerier over een vaste vloot van vier voertuigen beschikt.

Location ID	Name	Address	Latitude (y)	Longitude (x)	Time window start	Time window end	Must be visited?	Service time	Pickup amount	Delivery amount	Profit
0	Depot				00:00	23:59	Starting location	0:00	0	0	0
1	Customer 1				00:00	23:59	Must be visited	0:00	0	0	0
2	Customer 2				00:00	23:59	Must be visited	0:00	0	0	0
3	Customer 3				00:00	23:59	Must be visited	0:00	0	0	0
4	Customer 4				00:00	23:59	Must be visited	0:00	0	0	0
5	Customer 5				00:00	23:59	Must be visited	0:00	0	0	0

Figuur 7: Werkblad 1: Locaties

Het werkblad *Locaties* in figuur 7 bevat de x-coördinaten en de y-coördinaten per klant. Het depot bevindt zich op de centrale locatie (0,0). Er zal gevarieerd worden met de breedte van de tijdsvensters bij de klanten. Verder is de koerier verplicht om bij elke klant te leveren. Hier zal het ook steeds gaan om 1 pakket per klant. Verder wordt er een servicetijd van twee minuten per klant aangerekend. Deze twee minuten omvatten het parkeren van de bestelbus, het uitladen van het pakket, het aanbellen en het overhandigen van het pakket. Verder zal een opbrengst van €3,75 per afgeleverd pakket verondersteld worden (Autoriteit Consument & Markt, 2018). Deze winst wordt gebruikt in sectie 3.2.6, waar gewerkt wordt met gedifferentieerde tijdsvensters en prijzen.

From	To	Distance	Duration
Depot	Depot	0,00	0:00
Depot	Customer 1	0,00	0:00
Depot	Customer 2	0,00	0:00
Depot	Customer 3	0,00	0:00
Depot	Customer 4	0,00	0:00
Depot	Customer 5	0,00	0:00

Figuur 8: Werkblad 2: Afstanden

Het werkblad *Afstanden* dat weergegeven wordt in figuur 8 geeft de afstand weer van elke mogelijke verbinding in het netwerk. Verder geeft dit ook weer hoe lang deze rit van punt tot punt duurt. Hier wordt rekening gehouden met de keuze voor de snelste of de kortste route. In dit onderzoek is de keuze voor de snelste of de kortste route niet relevant, aangezien er gewerkt wordt met artificiële data. De reistijd is steeds proportioneel met de Euclidische afstand. Wanneer er gewerkt wordt met een gemiddelde snelheid van 60 kilometer per uur, duurt het steeds één minuut om een afstand van één kilometer af te leggen. Zo is er geen keuze tussen verschillende routes.

Starting depot	Vehicle type	Capacity	Fixed cost per trip	Cost per unit distance	Distance limit	Work start time	Driving time limit	Working time limit	Return depot	Number of vehicles
Depot	T1	1	0,00	1,00	560,00	08:00	9:00	10:00	Depot	1

Figuur 9: Werkblad 3: Voertuigen

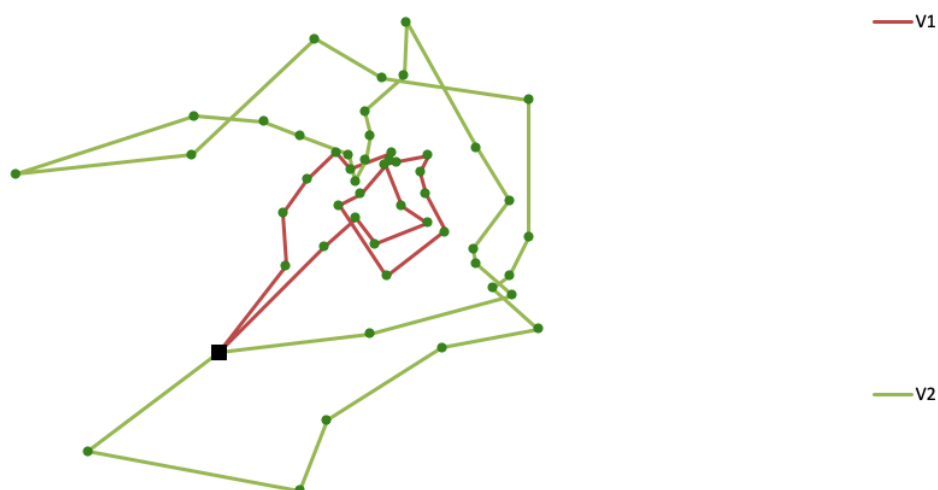
In figuur 9, het werkblad *Voertuigen*, wordt weergegeven over hoeveel voertuigen het koeriersbedrijf beschikt. De koerier beschikt steeds over vier voertuigen om de rittenplanning uit te voeren. Het probleem wordt gezien als een operationeel probleem waarbij dus steeds een vast aantal voertuigen en bestuurders ter beschikking staan. De koeriers hebben geen afstandslimiet en kunnen het aantal kilometers afleggen dat nodig is om de geplande rit te voltooien. De totale arbeidslimiet bedraagt tien uur. Deze arbeidsduur omvat de rijtijden voor de vooropgestelde rit en de eventuele wachttijden bij de klanten. Deze wachttijden doen zich voor wanneer de koerier te vroeg arriveert bij de klant en moet wachten tot het tijdsvenster zich opent.

Voor de kosten wordt een kost per kilometer voorzien. Deze kost bedraagt €0,55 per afgelegde kilometer. Deze kost omvat de loonkosten van de koerier, namelijk een loon van vijftien euro per uur. Deze wordt gedeeld door 60 om tot een kost van 0,25 per minuut te komen. Er wordt gerekend aan een snelheid van 60 kilometer per uur waardoor er een kost van 0,25 per kilometer geteld wordt. Verder bevat dit de brandstofkosten, de verzekering van het voertuig en de verkeersbelasting, hetgeen vertaald wordt in een kost van €0,30 per kilometer (Blauwens et al., 2020).

<b>Total net profit:</b>		<b>52,26</b>							
<b>Vehicle:</b>	<b>V1</b>	<b>Stops:</b>	<b>55</b>	<b>Net profit:</b>	<b>28,99</b>				
<b>Stop count</b>	<b>Location name</b>	<b>Distance travelled</b>	<b>Driving time</b>	<b>Arrival time</b>	<b>Departure time</b>	<b>Working time</b>	<b>Profit collected</b>	<b>Load</b>	
0	Depot	0,00	0:00		08:00	0:00	0	54	
1	Customer 11	9,41	0:13	08:13	08:15	0:15	1,25	53	
2	Customer 5	11,94	0:16	08:18	08:20	0:20	2,5	52	
3	Customer 20	14,49	0:19	08:23	08:25	0:25	3,75	51	
4	Customer 6	16,58	0:22	08:28	08:30	0:30	5	50	
5	Customer 9	16,90	0:23	08:31	08:33	0:33	6,25	49	

Figuur 10: Werkblad 4: Oplossing

Het werkblad *Oplossing* in figuur 10 geeft voor elk voertuig de geplande rit weer. Het geeft aan welke klanten bezocht worden door het voertuig en in welke volgorde deze klanten bezocht zullen worden. Verder geeft dit werkblad ook de afgelegde afstand en de tijd van de afgelegde afstand weer. Hierbij hoort ook de tijd van aankomst en de tijd van vertrek op de locatie van de klant. Dit aspect is belangrijk aangezien hier de invloed van de tijdsvensters te zien zal zijn. Wanneer een venster oranje kleurt in de kolom van de aankomsttijd, wil dit zeggen dat de koerier te vroeg aangekomen is bij de klant. Op dit moment zal de koerier wachten tot het tijdsvenster zich opent.



Figuur 11: Werkblad 5: Visualisatie

Verder is er nog een werkblad dat zorgt voor de *Visualisatie*. Dit is te zien in figuur 11. Hierbij worden de ritten van elk voertuig weergegeven.

### 3.1.2 Parameters in het praktijkonderzoek

Het onderzoek wordt uitgevoerd op basis van artificiële datasets met de coördinaten van klanten. In de onderstaande tabel wordt een overzicht gegeven van de gemaakte aannames tijdens dit onderzoek.

<b>Parameter</b>	<b>Keuze</b>
<i>Aantal depots</i>	1
<i>Aantal klanten</i>	Scenario's met 100 klanten in clusters van 25
<i>Gemiddelde snelheid van de koerier</i>	Phi- waarde: 0,30 = 60km/u Phi- waarde: 0,50 = 45km/u Phi- waarde: 0,70 = 30km/u
<i>Aantal voertuigtypes</i>	1
<i>Type tijdsvensters</i>	Vaste tijdsvensters
<i>Breedte tijdsvensters</i>	Variabel
<i>Klant verplicht bezoeken</i>	Ja
<i>Aantal geleverde pakketten per klant</i>	1
<i>Servicetijd om het pakket aan de klant af te leveren</i>	2 minuten
<i>Opbrengst per klant</i>	€3,75
<i>Kost per afgelegde kilometer</i>	€0,55
<i>Werkuren van de koerier</i>	Maximum 10 uur
<i>Aantal voertuigen</i>	4

Tabel 3: Aannames praktijkonderzoek

Aan de hand van deze tabel zullen verschillende scenario's uitgewerkt worden. Door middel van de VRP Spreadsheet Solver zal er een oplossing geformuleerd worden voor de verschillende scenario's. In deze oplossing wordt ook duidelijk wat er wenselijk is voor de koeriers. Zo zijn er voorkeuren voor de breedte van de tijdsvensters waar te nemen na het uitwerken van de verschillende scenario's. Het doel is om de totale kosten en dus de afgelegde afstand te minimaliseren.

### 3.2 Uitgewerkte scenario's praktijkonderzoek

Uit de literatuur blijkt dat klanten steeds hogere eisen stellen en een steeds hoger serviceniveau verwachten van de koerier. Dit vertaalt zich vaak in smallere tijdsvensters. Op deze manier moet de klant maar een beperkte tijd thuis aanwezig zijn om het pakket in ontvangst te nemen. In de volgende secties zullen de scenario's met verschillende breedtes van tijdsvensters uitgewerkt worden. Voor elke clusteringsdichtheid wordt er steeds gewerkt met vijf instances, waarbij de klantenlocaties willekeurig gegenereerd zijn, rekening houdend met de vooropgestelde sterkte van clustering, op basis van de procedure van Cordeau (1997). Hierna wordt het gemiddelde van de resultaten over deze instances genomen. Deze resultaten worden steeds weergegeven in een samenvattende tabel. Zo wordt onderzocht wat het effect van tijdsvensters is op de kosten en de afgelegde afstand van de koerier.

Een eerste scenario dat getest wordt is er een zonder tijdsvensters en is terug te vinden in sectie 3.2.1. Dit scenario komt niet voor in de praktijk, maar zal een duidelijk beeld geven over de rittenplanning wanneer de koerier zelf de volledige vrijheid heeft om deze op te stellen. Vervolgens wordt er gewerkt met tijdsvensters die een breedte hebben van drie uur. Dit scenario wordt uitgewerkt in sectie 3.2.2. In sectie 3.2.3 volgt een scenario met tijdsvensters met een breedte van twee uur. Verder worden er nog scenario's onderzocht met tijdsvensters die een breedte hebben van één uur in sectie 3.2.4 en van dertig minuten in sectie 3.2.5. Tot slot wordt in sectie 3.2.6 een scenario uitgewerkt met prijsdifferentiatie. In dit scenario zullen er verschillende prijzen aangerekend worden voor de verschillende breedtes van de tijdsvensters. Door middel van dit praktijkonderzoek zal de impact van de versmalling van tijdsvensters worden weergegeven. Ook zal dit weergegeven wat een wenselijke breedte van de tijdsvensters is voor koeriers. Op deze manier kunnen koeriers een strategie bepalen om klanten naar deze breedte van tijdsvensters te sturen.

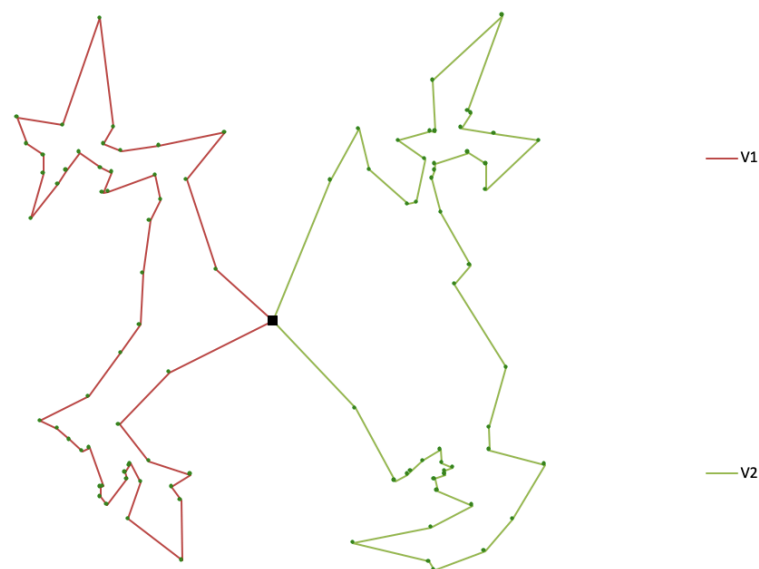
#### 3.2.1 Scenario 1: Zonder tijdsvensters

Het eerste scenario is er een zonder tijdsvensters. Op deze manier kan de koerier volledig zelf zijn rittenplanning samenstellen zonder rekening te moeten houden met de voorkeuren van de klant. De levering dient wel plaats te vinden binnen de werktijd van de koerier (08:00 – 18:00). Dit scenario bevat vier clusters van elk 25 te beleveren klanten. Het wordt uitgewerkt voor elke clusteringsdichtheid.

<b>Clusteringsdichtheid</b>	<b>Gemiddelde afgelegde afstand</b>	<b>Gemiddelde kost</b>	<b>Minimumkost</b>	<b>Maximumkost</b>
0,30	308,25	169,54	158,56	178,40
0,50	256,70	141,18	129,86	148,69
0,70	221,64	121,90	116,56	127,91

Tabel 4: Scenario 1: Zonder tijdsvensters

Dit is een zeer gunstig scenario voor de koerier. Op deze manier kan de koerier de ideale volgorde van klanten samenstellen. De route zal zo een minimale afstand hebben. Hier valt ook meteen de invloed van de clusteringsdichtheden op. Voor een lage clusteringsdichtheid van 0,30, wat geassocieerd wordt met het platteland, wordt de grootste gemiddelde afstand afgelegd. Zoals te zien in tabel 4 heeft dit tot gevolg dat de kosten hoger zijn in vergelijking met de andere clusteringsdichtheden. Voor een clusteringsdichtheid van 0,70, wat geassocieerd wordt met stedelijk gebied, is dit een erg voordelig scenario. De gemiddeld afgelegde afstand en dus ook de kosten zijn voor deze clusteringsdichtheid beperkt. De minimumkost en maximumkost geven de spreiding van de resultaten over de verschillende instances weer. Hier wordt duidelijk dat er bij een clusteringsdichtheid van 0,30 en 0,50 een spreiding van ongeveer twintig is. Bij een clusteringsdichtheid is de spreiding kleiner en wordt er een verschil tussen de minimumkost en maximumkost waargenomen dat net iets groter is dan tien.



*Figuur 12: Visualisatie rittenplanning zonder tijdsvensters*

Zoals te zien in figuur 12 leidt een scenario zonder tijdsvensters en een clusteringsdichtheid van 0,50 tot mooie routes. Deze figuur is een voorbeeld van de oplossing voor één instance. De twee voertuigen van de koerier zullen elk twee clusters bedienen. Omdat er geen tijdsvensters zijn, kan de koerier de klanten in een logische volgorde beleveren.

### 3.2.2 Scenario 2: Breedte tijdsvensters drie uur

In dit scenario wordt er gewerkt met tijdsvensters die een breedte hebben van drie uur. Deze tijdsvensters worden onderverdeeld per groep van 25 klanten. Dit wil zeggen dat er vier blokken van drie uur zijn. Binnen elke cluster van 25 klanten wordt telkens aan 25% van de klanten een apart tijdsvenster toegekend. Dit betekent dat er in elke cluster vier groepen zijn die elk binnen een ander tijdsvenster dienen bediend te worden. Het vroegste tijdsvenster situeert zich tussen 08:00 en 11:00 en het laatste tijdsvenster situeert zich tussen 14:00 en 17:00. In totaal dienen nog steeds alle 100 klanten beleverd te worden door de koerier. Dit scenario wordt uitgewerkt voor elke clusteringsdichtheid. De resultaten van de VRP Spreadsheet Solver worden in tabel 5 weergegeven.

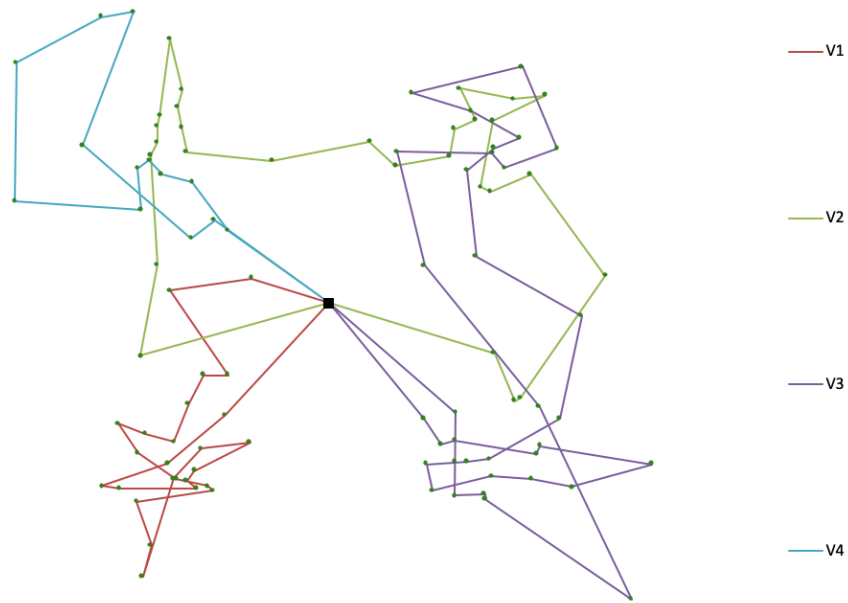
<b>Clusteringsdichtheid</b>	<b>Gemiddelde afgelegde afstand</b>	<b>% stijging afstand ten opzichte van basisscenario</b>	<b>Gemiddelde kost</b>	<b>Minimumkost</b>	<b>Maximumkost</b>
0,30	485,18	57,40%	266,85	254,06	278,79
0,50	410,81	60,04%	225,95	212,73	238,24
0,70	346,80	56,47%	190,74	179,51	195,29

Tabel 5: Scenario 2: Breedte tijdsvensters drie uur

In tabel 5 is er een duidelijk verschil waar te nemen in de resultaten voor de verschillende clusteringsdichtheden. Een eerste verschil spiegelt zich af in de afgelegde afstand. Voor een clusteringsdichtheid van 0,30 ligt de gemiddelde afgelegde afstand 57,40% hoger dan in het basisscenario zonder tijdsvensters. Dit vertaalt zich ook in de kosten. Voor een clusteringsdichtheid van 0,30 is er dezelfde stijging van 57,40% in de gemiddelde kost ten opzichte van een scenario zonder tijdsvensters, aangezien deze evenredig zijn.

De scenario's met een clusteringsdichtheid van 0,50 en 0,70 kennen ook een stijging in de afgelegde afstand en de bijhorende kosten ten opzichte van een scenario zonder tijdsvensters. Voor een clusteringsdichtheid van 0,50 is er een stijging van 60,04% in de kosten en afgelegde afstand terwijl deze stijging 56,74% bedraagt voor een clusteringsdichtheid van 0,70. Verder is er een verschil waargenomen tussen de verschillende instances. Voor een clusteringsdichtheid van 0,30 bedraagt de maximale kost 278,79 en de minimumkost 254,06. Deze variatie in de resultaten is ongeveer gelijk aan de variatie in een situatie zonder tijdsvensters. Ook bij de instances met een clusteringsdichtheid van 0,50 is er een verschil merkbaar tussen de verschillende instances. De maximumkost bedraagt hier 238,24 en de minimumkost 212,73. Dit verschil tussen de instances is kleiner bij een clusteringsdichtheid van 0,70 waar de minimumkost 179,51 bedraagt en de maximumkost 195,29. Er is voor elke clusteringsdichtheid reeds een duidelijke impact waar te nemen door het invoeren van tijdsvensters waarbinnen de klanten beleverd dienen te worden.





*Figuur 13: Visualisatie rittenplanning met tijdsvensters van drie uur*

In figuur 13 is een visualisatie weergegeven van het scenario met tijdsvensters die een breedte hebben van drie uur en een clusteringsdichtheid van 0,50. Deze figuur is een voorbeeld van de oplossing voor één instance. Hier is te zien dat de koerier nog steeds mooie routes kan samenstellen waarbij de volgorde van de klanten die bezocht worden over het algemeen nog logisch is. De koerier maakt ook gebruik van de volledige vloot aangezien het niet nuttig is om een voertuig niet te benutten.

### 3.2.3 Scenario 3: Breedte tijdsvensters twee uur

In dit scenario worden de tijdsvensters versmald naar een breedte van twee uur om te onderzoeken welk effect dit heeft op de efficiëntie van de rittenplanning. Deze scenario's worden uitgewerkt voor elke clusteringsdichtheid. Er wordt opnieuw gewerkt met groepen van 25 klanten. Elk van deze 25 klanten wordt onderverdeeld in vier aparte groepen. Dit betekent dat 25% van elke cluster binnen een bepaald tijdsvenster bediend zal worden. Het vroegste tijdsvenster situeert zich tussen 08:00 en 10:00 en het laatste tijdsvenster situeert zich tussen 14:00 en 16:00. In tegenstelling tot het vorige scenario overlappen de tijdsvensters nu niet meer. De resultaten van de VRP Spreadsheet Solver worden in tabel 6 weergegeven.

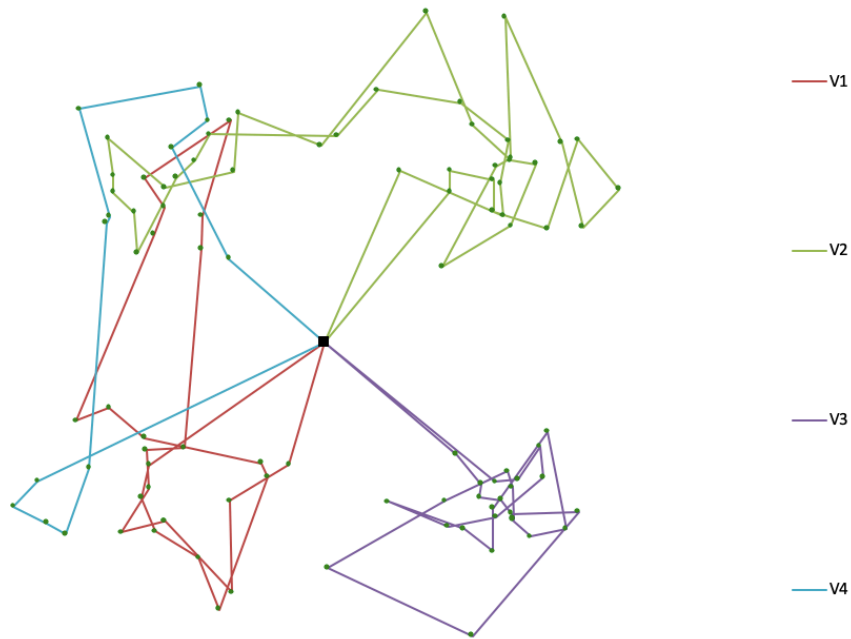
Clusteringsdichtheid	Gemiddelde afgelegde afstand	% stijging afstand ten opzichte van basisscenario	Gemiddelde kost	Minimumkost	Maximumkost
0,30	559,17	81,40%	307,54	295,86	330,52
0,50	473,93	84,62%	260,66	251,95	274,11
0,70	385,91	74,12%	212,25	196,62	226,46

Tabel 6: Scenario 3: Breedte tijdsvensters twee uur

In tabel 6 wordt het duidelijk dat een versmalling van de tijdsvensters naar twee uur een sterke invloed heeft op een clusteringsdichtheid van 0,30. De gemiddelde afgelegde afstand en bijhorende kost stijgt met 81,40% ten opzichte van het basisscenario zonder tijdsvensters. Er valt ook een sterkere variatie af te lezen tussen de vijf instances. In twee van de vijf gevallen is een kost die lager is dan 300. In de andere drie gevallen is de kost reeds hoger dan 300 met een maximumkost van 330,52. Dit is te wijten aan grotere afstanden die afgelegd worden door de koerier. Op deze manier is er een grote kost voor de afgelegde afstand.

Bij een clusteringsdichtheid van 0,50 wordt een stijging van 84,62% waargenomen in de afgelegde afstand en de bijhorende kosten. Deze stijging is net hoger dan de stijging bij een clusteringsdichtheid van 0,30. Aangezien de afgelegde afstand stijgt, stijgen ook de kosten. De minimumkost bedraagt hier 251,95 en de maximumkost 274,11. Het verschil in resultaten van de vijf incentives blijft wel constant.

Voor de clusteringsdichtheid van 0,70 is de rittenplanning het interessantst aangezien de gemiddelde afgelegde afstand en de bijhorende kosten het laagst zijn. Echter is er hier ook een stijging van 74,12% ten opzichte van het scenario zonder tijdsvensters. Verder is er een groter verschil tussen de verschillende instances. De minimumkost bedraagt 196,62 en de maximumkost bedraagt 226,46. Het verschil in de gemiddelde kosten tussen een clusteringsdichtheid van 0,30 en 0,70 stijgt ook. Het leveren in stedelijk gebied is in dit scenario interessanter dan leveren op het platteland, wat ook logisch is aangezien de koerier kleinere afstanden dient af te leggen.



*Figuur 14: Visualisatie rittenplanning met tijdsvensters van twee uur*

In figuur 14 is de invloed van een versmalling van de tijdsvensters naar twee uur ook meteen duidelijk. Dit is een visualisatie van een scenario met een clusteringsdichtheid van 0,50. Deze figuur is een voorbeeld van de oplossing voor één instance. De routes lopen nu door elkaar en de koeriers verplaatsen zich nu binnen meerdere clusters om al de klanten te kunnen bedienen binnen de vooropgestelde tijdsvensters. De volgorde waarbinnen de klanten nu bediend worden is noodzakelijkerwijze meer in functie van de tijdsvensters dan in functie van de geografische locatie.

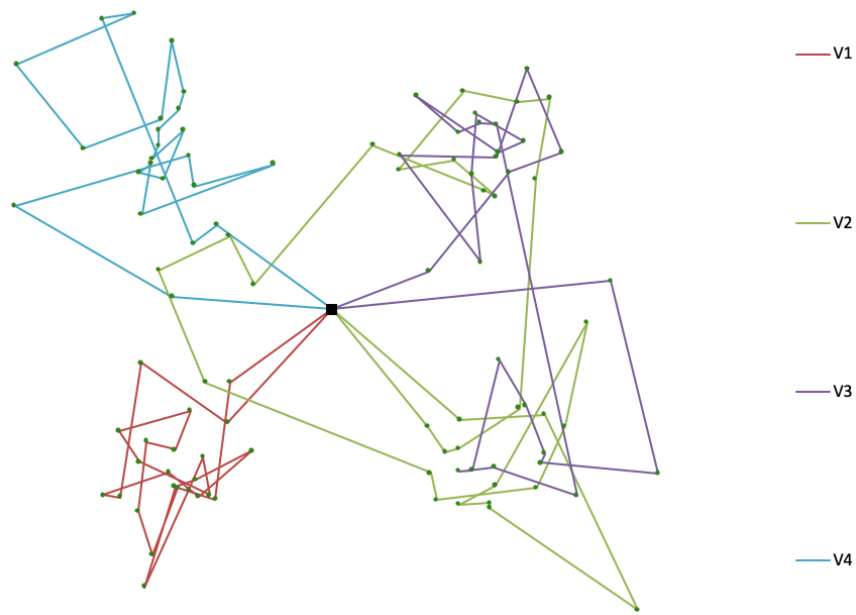
### 3.2.4 Scenario 4: Breedte tijdsvensters één uur

In het volgende scenario worden de tijdsvensters verder versmald naar een breedte van één uur. Dit scenario geeft weer wat het effect is op de rittenplanning van koeriers wanneer er met dezelfde parameters smallere tijdsvensters worden aangeboden. De tijdsvensters worden toegekend per groep van 25 klanten. Dit wil zeggen dat elke cluster van 25 klanten wordt opgedeeld in acht groepen van drie tot vier klanten die elk een tijdsvenster met een breedte van één uur krijgen toegewezen. Over de hele dataset bekeken zal elk tijdsvenster van één uur dus twaalf tot dertien keer voorkomen. Het vroegste tijdsvenster situeert zich tussen 08:00 en 09:00 en het laatste tijdsvenster situeert zich tussen 15:00 en 16:00. De resultaten van de VRP Spreadsheet Solver worden in tabel 7 weergegeven.

<b>Clusteringsdichtheid</b>	<b>Gemiddelde afgelegde afstand</b>	<b>% stijging afstand ten opzichte van basisscenario</b>	<b>Gemiddelde kost</b>	<b>Minimumkost</b>	<b>Maximumkost</b>
0,30	690,46	124,00%	379,75	366,47	399,67
0,50	543,21	111,61%	298,77	277,15	318,58
0,70	427,28	92,78%	235,00	225,54	243,97

Tabel 7: Scenario 4: Breedte tijdsvensters één uur

In de tabel 7 wordt het duidelijk dat nog smallere tijdsvensters niet wenselijk zijn voor koeriers inzake de gemiddelde afstand en bijhorende kosten. Bij een lage clusteringsdichtheid van 0,30 stijgt de gemiddelde afgelegde afstand en bijhorende kost met 124,00% ten opzichte van het scenario zonder tijdsvensters. Bij resultaten van de verschillende instances met een clusteringsdichtheid van 0,30 variëren de kosten voor de rittenplanning tussen 366,47 en 399,67. Bij een clusteringsdichtheid van 0,50 wordt een stijging van 111,61% waargenomen in de afgelegde afstand en de bijhorende kosten, maar deze stijging is kleiner dan voor een clusteringsdichtheid van 0,30. Ook hier is er variatie tussen de verschillende instances. De minimumkost bedraagt 277,15 en de maximumkost bedraagt 318,58. In drie van de vijf instances is de kost groter dan 300. Een scenario met een clusteringsdichtheid van 0,70 kent een stijging van 92,78% ten opzichte van een scenario zonder tijdsvensters. De variatie tussen de verschillende instances wordt weergegeven door een minimumkost van 225,54 en een maximumkost van 243,97. Dit betekent dat tijdsvensters met een breedte van één uur vooral wenselijk zijn in stedelijk gebied, waar de klanten dicht bij elkaar wonen waardoor een kleinere af te leggen afstand kan gerealiseerd worden.



*Figuur 15: Visualisatie rittenplanning met tijdsvensters van één uur*

In figuur 15 zijn de ritten terug te vinden van een scenario met tijdsvensters die een breedte hebben één uur voor een clusteringsdichtheid van 0,50. Deze figuur is een voorbeeld van de oplossing voor één instance. Hier wordt duidelijk dat de koerier meer afstand aflegt. De voertuigen bewegen zich ook binnen meerdere clusters, wat ook aanleiding geeft tot het afleggen van grotere afstanden. Ook hier maakt de koerier gebruik van de volledige vloot, aangezien het door de strakke tijdsvensters niet haalbaar is om met minder voertuigen te werken.

### 3.2.5 Scenario 5: Breedte tijdsvensters 30 minuten

In het volgende scenario worden de tijdsvensters verder versmald naar een breedte van 30 minuten. Dit is reeds een vrij extreem scenario aangezien de koerier dient te voldoen aan zeer strakke tijdsvensters. Dit is een scenario wat erg wenselijk is vanuit het standpunt van de klanten. Zo hebben deze een erg specifiek uur waarbinnen zij bediend zullen worden. Indien de koerier aan deze tijdsvensters kan voldoen, heeft dit een positieve invloed op de het serviceniveau.

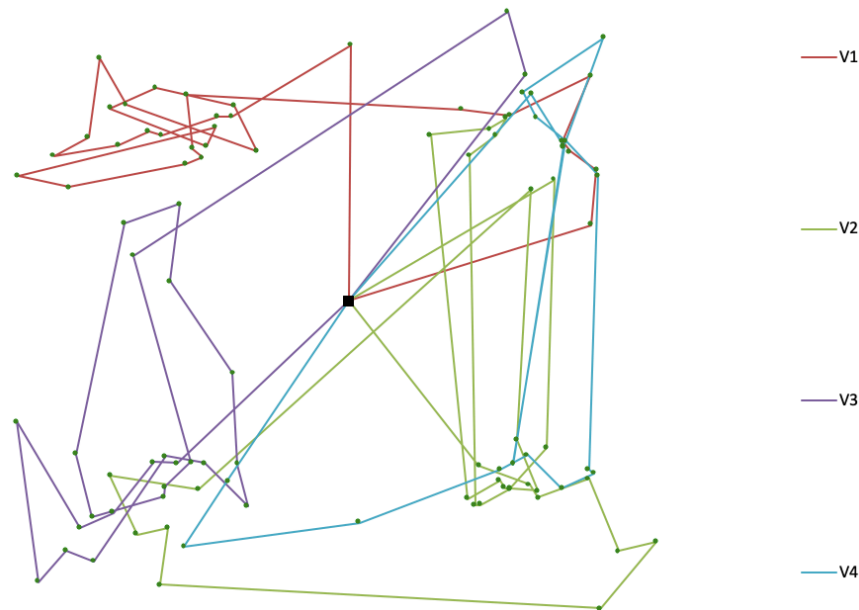
De tijdsvensters worden toegekend per groep van 25 klanten. Elk van deze groepen wordt nogmaals onderverdeeld in vier aparte groepen die elk een tijdsvenster van 30 minuten krijgen toegewezen. Over de hele dataset zijn er zestien verschillende tijdsvensters van 30 minuten beschikbaar die evenredig verdeeld worden tussen de verschillende groepen. De groepen van tijdsvensters worden willekeurig toegekend en zullen per cluster zowel voormiddag als namiddag zijn. De resultaten van de VRP Spreadsheet Solver worden weergegeven in tabel 8.

<b>Clusteringsdichtheid</b>	<b>Gemiddelde afgelegde afstand</b>	<b>% stijging afstand ten opzichte van basisscenario</b>	<b>Gemiddelde kost</b>	<b>Minimumkost</b>	<b>Maximumkost</b>
0,30	676,00	119,30%	371,80	353,63	389,46
0,50	630,31	145,54%	346,67	341,36	351,87
0,70	581,81	162,50%	319,99	296,67	335,82

Tabel 8: Scenario 5: Breedte tijdsvensters 30 minuten

In tabel 8 wordt het duidelijk dat nog smallere tijdsvensters niet wenselijk zijn voor koeriers. Daar waar een lage clusteringsdichtheid is van 0,30, wordt een erg opmerkelijk resultaat vastgesteld. De afgelegde afstanden en bijhorende kosten zijn nog steeds erg hoog en stijgen met 119,30% ten opzichte van het scenario zonder tijdsvensters. Echter bedraagt de stijging in een scenario met tijdsvenster met een breedte van één uur 124%. Dit valt te wijten aan toevalseffecten en enkele uitschieters in de instances. Voor een clusteringsdichtheid van 0,50 is er wel een stijging waar te nemen in de gemiddelde afgelegde afstand en de bijhorende kosten. De afgelegde afstand en bijhorende kost stijgt met 145,54% ten opzichte van het scenario zonder tijdsvensters. De resultaten van de verschillende instances zijn vrij constant met een minimumkost van 341,36 en een maximumkost van 351,87.

Voor een clusteringsdichtheid van 0,70 is er een sterke stijging van 162,50% in de afgelegde afstand en de bijhorende kost ten opzichte van het scenario zonder tijdsvensters. Ondanks dat de klanten in stedelijk gebied wonen, is een tijdsvenster van 30 minuten niet erg wenselijk door het grote verschil in de af te leggen afstand en de kosten. Er is een variatie vast te stellen tussen de verschillende instances waarbij de minimumkost 296,67 bedraagt en de maximumkost 335,82. In slechts één van de vijf instances blijft de kost van de rittenplanning lager dan 300. Indien de koerier toch tijdsvensters van 30 minuten wil aanbieden, kan dit door de prijzen van de leveringen te differentiëren naargelang de breedte van de tijdsvensters. Dit wordt onderzocht in scenario 6.



*Figuur 16: Visualisatie rittenplanning met tijdsvensters van 30 minuten*

Figuur 16 geeft duidelijk de complexiteit weer van een rittenplanning die tijdsvensters van 30 minuten hanteert. De visualisatie is uitgevoerd voor een scenario met een clusteringsdichtheid van 0,50. Deze figuur is een voorbeeld van de oplossing voor één instance. Zo is ook te zien dat de koerier duidelijk meer afstand dient af te leggen dan in de voorgaande scenario's. Hier wordt ook opgemerkt dat de voertuigen actief zijn in meerdere clusters.

### 3.2.6 Scenario 6: Differentiatie breedte tijdsvensters en prijzen.

Uit de literatuur blijkt reeds dat koeriers tijdsvensters kunnen sturen door middel van differentiatie van prijzen. Dit resulteert in verschillende prijzen voor verschillende breedtes van tijdsvensters. Deze financiële incentive kan een korting zijn voor klanten die zich flexibel opstellen en een breed tijdsvenster aanvaarden. Ook kan dit doorgevoerd worden door een extra kost aan te rekenen aan de klanten die zich minder flexibel opstellen en beleverd willen worden binnen een strakker tijdsvenster (Agatz et al., 2013). In dit scenario wordt er gewerkt met een differentiatie van de breedte van de tijdsvensters en de bijhorende prijzen waarbij klanten die minder flexibel zijn, en dus een smaller tijdsvenster prefereren, een extra kost betalen. Dit verandert ook enkele parameters in het onderzoek. Zo blijft de opbrengst voor tijdsvensters met een breedte van twee uur op €3,75 staan. Voor tijdsvensters met een breedte van één uur stijgt deze naar €4,25. Tijdsvensters met een breedte van 30 minuten betekenen in dit scenario een opbrengst van €4,75 voor de koerier. Hieruit Deze differentiatie gebeurt per groep van 25 klanten. In elke groep van 25 klanten zullen twaalf klanten beleverd worden binnen een tijdsvenster van twee uur, acht klanten zullen bediend worden binnen een tijdsvenster van een uur en vijf klanten worden beleverd binnen een tijdsvenster van 30 minuten. Deze tijdsvensters worden binnen elke cluster random verspreid over de dag heen. Over de hele dataset bekeken, zullen 48 klanten bediend worden binnen een tijdsvenster van twee uur, 32 klanten binnen een tijdsvenster van één uur en 20 klanten binnen een tijdsvenster van 30 minuten. Dit resulteert in een totale opbrengst van 411,00 per afgewerkte route.

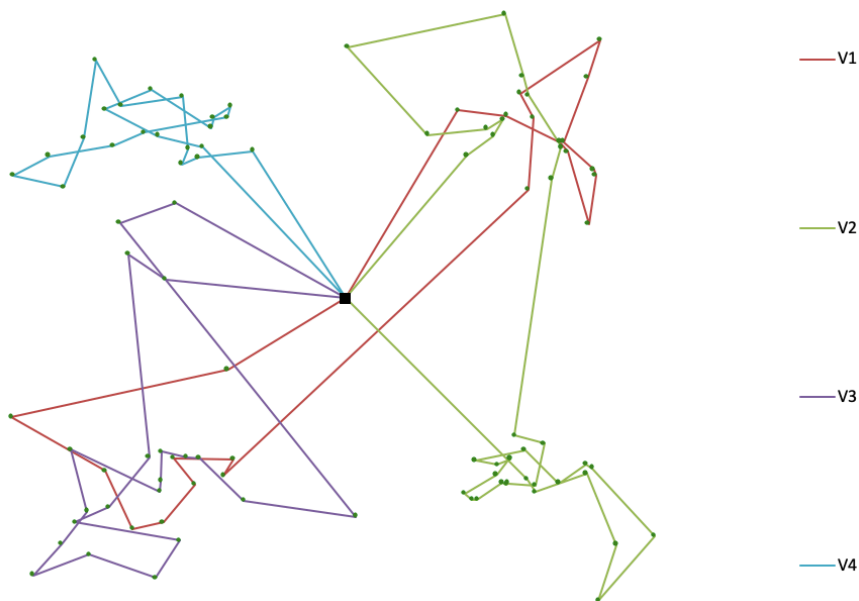
Clusteringsdichtheid	Gemiddelde afgelegde afstand	Gemiddelde kost	Minimumkost	Maximumkost	Gemiddelde winst
0,30	534,32	293,99	274,17	311,86	117,01
0,50	430,91	237,00	228,98	253,23	174,00
0,70	380,80	218,04	204,43	227,33	192,96

Tabel 9: Scenario 6: Gedifferentieerde tijdsvensters

In tabel 9 is waar te nemen dat het differentiëren van prijzen voor de verschillende breedtes van tijdsvensters wel degelijk een effect heeft. Voor een clusteringsdichtheid van 0,30, waar de klanten zich op het platteland bevinden, blijft de af te leggen afstand en kost groot. Er is een stijging van 73,34% ten opzichte van het basisscenario zonder tijdsvensters. Tussen de vijf instances die onderzocht worden voor een clusteringsdichtheid van 0,30, is er een variatie waargenomen. De minimumkost bedraagt 274,17 en de maximumkost bedraagt 311,86. In drie van de vijf gevallen blijft de kost voor de uit te voeren rittenplanning kleiner dan 300. In dit scenario heeft de koerier een grotere opbrengst door het aanrekenen van een kost voor minder flexibele klanten. Voor een rittenplanning op het platteland resulteert dit in een gemiddelde winst van 117,01.



Voor een clusteringsdichtheid van 0,50 wordt ook een positief resultaat vastgesteld. De afgelegde afstand blijft relatief laag waardoor de koerier tegen een acceptabele kost kan werken. De stijging ten opzichte van het basisscenario bedraagt 67,87%. In één van de vijf instances wordt een grotere kost waargenomen maar in de andere vier gevallen zijn de resultaten constant. Deze rittenplanning brengt ook een gemiddelde winst van 174,00 mee voor de koerier, hetgeen beduidend hoger is dan voor een clusteringsdichtheid van 0,30. Er wordt ook een positief resultaat vastgesteld voor een clusteringsdichtheid van 0,70, een situatie waarbij de klanten in een stedelijk gebied wonen. De koerier slaagt erin om de afgelegde afstand en de bijhorende kost te minimaliseren. Er is wel een stijging van 71,81% ten opzichte van het scenario zonder tijdsvensters. Verder kent dit scenario de grootste gemiddelde winst. Deze bedraagt 192,96.



*Figuur 17: Visualisatie rittenplanning met gedifferentieerde tijdsvensters*

In figuur 17 is te zien dat gedifferentieerde tijdsvensters nog steeds leiden tot complexe routes voor een clusteringsdichtheid van 0,50. Deze figuur is een voorbeeld van de oplossing voor één instance. De koeriers dienen zich nog steeds tussen meerdere clusters te bewegen en leggen zo grote afstanden af.

### **3.3 Samenvatting praktijkonderzoek**

Uit het praktijkonderzoek blijkt dat een versmalling van de tijdsvensters een negatief effect heeft op de efficiëntie van de rittenplanning voor koeriers. Bij tijdsvensters met een breedte van drie uur kan de koerier zijn klanten in een logische volgorde bedienen. De afstanden die de koerier hier dient af te leggen zijn vrij laag en ook de bijhorende kosten zijn acceptabel. Wanneer er gebruik gemaakt wordt van tijdsvensters met een breedte van twee uur, betekent dit een stijging van 81,40% in de af te leggen afstand en kosten op het platteland, ten opzichte van een scenario zonder tijdsvensters. In stedelijk gebied weerspiegelt dit zich in een stijging van 74,12%. Wanneer de tijdsvensters versmald worden naar een breedte van één uur, blijft enkel het stedelijk gebied aantrekkelijk. Hier is een stijging van 92,78% in de af te leggen afstand en kosten. In de andere scenario's is er meer dan een verdubbeling van de af te leggen afstand en de kosten. Een extreem scenario met tijdsvensters met een breedte van 30 minuten blijkt operationeel niet efficiënt voor koeriers. Hier dient de koerier zowel op het platteland als in stedelijk gebied een te grote afstand af te leggen, wat leidt tot een grote kost om de rittenplanning uit te voeren. Een manier om toch smallere tijdsvensters aan te bieden is via prijsdifferentiatie. In het laatste scenario wordt er een extra kost aangerekend aan minder flexibele klanten, die een levering wensen binnen een strak tijdsvenster. In dit scenario wordt de af te leggen afstand en de kost hiervoor gevoelig kleiner. Voor koeriers is het erg interessant om klanten naar een breder tijdsvenster te sturen door middel van prijsdifferentiatie.



## 4 Conclusies en aanbevelingen voor verder onderzoek

Vanuit de literatuur blijkt dat koeriers vaak stoten op klanten die niet aanwezig zijn op het moment van de levering. Op deze manier dient de koerier vaak een extra handeling te stellen met het pakket. Ook is de koerier soms genoodzaakt om het pakket terug mee te nemen om op een later moment terug te keren naar de klant. Dit wordt gezien als een mislukte levering. De koerier zal trachten om het aantal geslaagde leveringen te laten stijgen door het pakket te leveren op een alternatieve methode of op een alternatieve locatie.

Een eerste alternatieve methode is het verlenen van toegang tot de woning of een bijgebouw aan de koerier. Op deze manier kan de koerier het pakket steeds afleveren wanneer de klant niet aanwezig is. Dit is echter een methode waarbij de klant het nodige vertrouwen dient te hebben in de koerier. Overigens kan er ook gebruik gemaakt worden van een receptiebox of leveringbox. Een receptiebox is een investering die de klant zelf dient te dragen. Deze box wordt permanent aan de woning bevestigd. Deze kan enkel geopend worden door de klant of de koerier aan de hand van een sleutel of een elektronische code. Een leveringbox is eigendom van de koerier. Deze wordt in het distributiecentrum gevuld met de bestelde goederen en door de koerier tijdelijk aan de woning bevestigd. Dit systeem heeft voor de koerier het nadeel dat deze een aparte route dient uit te voeren om de lege boxen terug te verzamelen.

Verder bestaat de mogelijkheid om het pakket te leveren in een ophaalpunt of in lockers. Een ophaalpunt is vaak een lokale winkelier. De klant dient dan zelf de verplaatsing te maken naar het ophaalpunt en is ook beperkt door de openingsuren hiervan. Lockers zijn terug te vinden aan de rand van stedelijke gebieden, aan winkels of aan tankstations. De koerier plaatst het pakket in de locker en de klant kan het hier zelf afhalen. Het openen van de locker gebeurt aan de hand van een elektronische code die de koerier aan de klant bezorgt. Echter streeft de koerier naar een levering waarbij de klant aanwezig is. Ook prefereert de klant een levering wanneer hij thuis is. Om de rittenplanning zo efficiënt mogelijk te laten verlopen kan de koerier trachten om tijdsvensters te sturen. Deze sturing gebeurt vooral door middel van financiële incentives. De koerier heeft de mogelijkheid om flexibele klanten, die bredere tijdsvensters accepteren, een korting aan te bieden. Verder kan de koerier ook een extra kost aanrekenen voor klanten die minder flexibel zijn en een extra service verwachten door beleverd te worden binnen strakke tijdsvensters. De invloed van de tijdsvensters wordt weergegeven in de praktijkstudiestudie.

In het praktijkonderzoek wordt aan de hand van een VRP Spreadsheet Solver in Excel verschillende scenario's uitgewerkt. Deze scenario's worden uitgevoerd aan de hand van artificiële datasets met 100 klanten, waarbij wordt uitgegaan van realistische kenmerken. Via deze weg wordt nagegaan welke scenario's wenselijk zijn voor koeriers wanneer deze werken met een rittenplanning met tijdsvensters.

Koeriers ervaren een steeds hogere druk door de eisen die de klanten stellen. Deze eisen vertalen zich in smallere tijdsvensters en een gegroepeerde vraag naar tijdsvensters na de werkuren en in de weekends. Deze elementen maken van de rittenplanning voor koeriers een complex gegeven. Wanneer de tijdsvensters smaller worden, botsen koeriers op een rittenplanning die niet altijd efficiënt te organiseren valt.

In een scenario zonder tijdsvensters is te zien dat de koerier zijn routes erg efficiënt kan plannen. De voertuigen kunnen op deze manier de klanten in een logische volgorde bedienen. Een scenario waar tijdsvensters worden ingevoegd met een breedte van drie uur leidt meteen tot een stijging in de gemiddelde afgelegde afstand. Dit zorgt er ook voor dat de kosten voor het uitvoeren van de rittenplanning stijgen. Voor een scenario op het platteland betekent dit een stijging van 57,40% ten opzichte van een scenario zonder tijdsvensters. Dit is een trend die zich verderzet wanneer de tijdsvensters verder versmald worden. Wanneer de klanten dienen bediend te worden binnen een tijdsvenster van twee uur is de invloed op de rittenplanning direct zichtbaar. Ook hier zorgt dit voor een stijging in de afgelegde afstanden en kosten van de koerier. Voor een situatie op het platteland is er een stijging van 81,40%. Voor het basisscenario, wat zich tussen het platteland en stedelijk gebied bevindt, betekent dit een stijging van 84,62%. Voor een stedelijk gebied is de stijging kleiner en bedraagt deze 74,12%. Deze bredere tijdsvensters van twee uur en van drie uur zorgen voor een grotere flexibiliteit in de rittenplanning van de koeriers. Voor klanten betekent dit wel dat zij gedurende een lange tijd thuis moeten zijn om het pakket in ontvangst te nemen. Een verdere versmalling van de tijdsvensters naar een breedte van één uur heeft een grote impact op de efficiëntie van de rittenplanning. Voor het platteland betekent dit een stijging van 124% in de af te leggen afstand en de kosten. Voor het basisscenario en het stedelijk gebied bedraagt deze stijging respectievelijk 111,61% en 92,78%. De routes van de koerier worden door het versmallen van de tijdsvensters steeds complexer. De beschikbare voertuigen verplaatsen zich binnen meerdere clusters en dienen de klanten in een minder logische volgorde te bedienen. Een extremer scenario, waarbij het tijdsvenster versmald wordt naar een breedte van 30 minuten, blijkt voor koeriers niet gunstig onder de huidige aannames. Een erg opvallend resultaat is hier dat dit scenario op het platteland een resultaat behaalt dat nipt beter is dan in een scenario met tijdsvensters van één uur. De stijging in de afgelegde afstand en kosten bedraagt hier namelijk 119,30%. Dit is te wijten aan toevalseffecten. Voor het basisscenario en het stedelijk gebied betekent dit een stijging van respectievelijk 145,54% en 162,50%. Dit komt door de erg grote afstanden die afgelegd dienen te worden door de strakke tijdsvensters.

Voor koeriers is het dus essentieel om een invloed te kunnen uitoefenen op de voorkeuren van de klant. Voor brede tijdsvensters is er de mogelijkheid om de klanten te belonen. Dit kan in de vorm van een korting. De klant zal dan minder betalen voor dezelfde levering dan iemand die zijn pakket geleverd wil hebben in een smal tijdsvenster. In het praktijkonderzoek wordt gekozen om een extra kost aan te rekenen aan klanten die zich minder flexibel opstellen en wensen beleverd te worden binnen een smaller tijdsvenster. Dit blijkt ook nodig voor de leverancier om de kosten van de geplande ritten te laten dalen. Het sturen naar bredere tijdsvensters zorgt voor meer flexibiliteit in de rittenplanning van de koerier.

In het laatste scenario wordt het effect van prijsdifferentiatie voor de verschillende breedtes van tijdsvensters getest. Hier wordt snel duidelijk dat een hogere prijs voor smalle tijdsvensters een positief effect heeft op de rittenplanning van de koerier. Door een differentiatie van de tijdsvensters kunnen de koeriers een efficiëntere rittenplanning opstellen waardoor de af te leggen afstand en de bijhorende kosten kleiner worden.

Het onderzoek kent ook enkele beperkingen. Het onderzoek werkt steeds met klantenbestanden ter grootte van 100 klanten. In verder onderzoek is het interessant om deze klantenbestanden te vergroten, om de operationele impact te bekijken voor de koerier. In de praktijk dient een koerier vaak meer dan 100 klanten te bedienen. Dit zorgt voor een andere volgorde van klanten in de rittenplanning waardoor wachttijden beïnvloed worden. Dit betekent ook dat er meer klanten binnen hetzelfde tijdsvenster bediend dienen te worden. Ook kan er gewerkt worden met meer instances per scenario. In het huidige onderzoek wordt er gewerkt met vijf instances per clusteringsdichtheid en per scenario. Het verschil tussen de instances wordt weergegeven in de minimumkost en de maximumkost. Het berekenen van meer instances leidt tot een afvlakking van dit verschil. Vervolgens kunnen koeriers ook proberen om klanten te sturen naar rustige momenten. Deze momenten bevinden zich meestal tijdens de reguliere werkuren. Dit zorgt voor meer evenwicht in de rittenplanning en de vraag. Een belangrijk aspect is hier dat klanten gestuurd worden naar momenten waarop ze thuis zijn. Verder is het ook interessant om te sturen naar een alternatieve locatie zoals een levering op het werk van de klant. Op deze manier vermijdt de koerier kosten voor extra handelingen door de mislukte levering. Het variëren van levermomenten in de avond of weekends kan interessant zijn voor toekomstig onderzoek. Voor het praktijkgedeelte worden aannames gemaakt omtrent de kosten per kilometer en de opbrengst per pakket voor de koerier. De assumpties die in dit onderzoek gemaakt worden met betrekking tot de kosten en opbrengsten zijn zo realistisch mogelijk. Verder is het ook interessant om nog meer variatie aan te brengen in de breedtes van het tijdsvenster. Wat betreft de literatuur blijft de effectieve aspect van de sturing van de tijdsvensters nog onderbelicht.

Wat hier niet onderzocht wordt, is dat de koerier nog een ander voordeel kan halen dankzij het gebruik van tijdsvensters. Wanneer een klant kiest voor een strak tijdsvenster, is de kans groter dat deze aanwezig is op het moment van de levering. Op deze manier kan het aantal geslaagde leveringen gevoelig stijgen waarmee een tweede poging om het pakket te af te leveren vermeden kan worden.



## Referentielijst

- Agatz, N., Campbell, A., Fleischmann, M., Van Nunen, J., & Savelsbergh, M. (2013). Revenue management opportunities for Internet retailers. *Journal of Revenue and Pricing Management*, 12, pp 128-138.
- Autoriteit Consument & Markt. (2019, 23 augustus). Post- en Pakketenmonitor 2018. Geraadpleegd van <https://www.acm.nl/nl/publicaties/post-en-pakketenmonitor-2018>
- Ben Ticha, H., Absi, N., Feillet, D., & Quillot, A. (2017). Empirical analysis for the VRPTW with a multigraph representation for the road network. *Computers & Operations Research*, 88, pp 103-116. <https://doi.org/10.1016/j.cor.2017.06.024>
- Blauwens, G., De Baere, P., Van de Voorde, E. (2020). *Transport Economics*, 6, pp 173-187. België : Van In.
- Caceres-Cruz, J., Arias, P., Guimarans, D., Riera, D., & Juan, A. (2014). Rich Vehicle Routing Problem: Survey. *ACM Computing Surveys (CSUR)*, 47. <http://dx.doi.org/10.1145/2666003>
- Cardinaels, J. (2019). Belgen kopen steeds meer online. De Tijd. Geraadpleegd via <https://www.tijd.be/ondernemen/retail/belgen-kopen-steeds-meer-online/10106887.html>
- Cordeau, J-F., Gendreau, M., & Laporte, G. (1997). A Tabu Search Heuristic for Periodic and Multi-Depot Vehicle Routing Problems. *Networks*, 30, pp 105-119.
- Dorling, K., Heinrichs, J., Messier, G., & Magierowski, S. (2016). Vehicle routing problems for drone delivery. Retrieved from <https://arxiv.org/pdf/1608.02305.pdf>
- El-Sherbeny, N. (2010). Vehicle routing with time windows: An overview of exact, heuristic and metaheuristic methods. *Journal of King Saud University Science*, 22, pp 123-131. <https://doi.org/10.1016/j.jksus.2010.03.002>
- Erdogan, G. (2007). An opens source spreadsheet solver for vehicle routing problems. *Computers & Operations Research*, 84, pp 67-72.
- Fei, W. (2014). Study on VRPTW Based on Improved Particle Swarm Optimization. *TELKOMNIKA Indonesian Journal of Electrical Engineering*, 12, pp 4543-4549. DOI: 10.11591/telkomnika.v12i6.5395
- Figliozzi, M. (2010). An iterative route construction and improvement algorithm for the vehicle routing problem with soft time windows. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 18, pp 668-679.
- Florio, A., Feillet., & Hartl, R. (2018). The delivery problem: Optimizing hit rates in e-commerce deliveries. *Transportation Research Part B: Methodological*, 117, pp.455-472. <https://doi-org.bib-proxy.uhasselt.be/10.1016/j.trb.2018.09.011>
- Garcia, D., & You, F. (2015). Supply chain design and optimization: Challenges and opportunities. *Computers & Chemical Engineering*, 81, pp. 153-170. <https://doi-org.bib-proxy.uhasselt.be/10.1016/j.compchemeng.2015.03.015>
- Ghoseiri, K., & Ghannadpour, S. (2010). Multi-objective vehicle routing problem with time windows using goal programming and genetic algorithm. *Applied Soft Computing*, 10, pp.1096-1107. <https://doi-org.bib-proxy.uhasselt.be/10.1016/j.asoc.2010.04.001>
- Goetschalckx, M. (2011). Supply Chain Engineering. Retrieved from: [https://books.google.be/books?hl=nl&lr=&id=BvKByj\\_BgCYC&oi=fnd&pg=PP5&dq=goetschalckx+supply+chain&ots=L7PTL8I1bo&sig=vh8Z1RwrmrvslyMk\\_CbgnnnJfVNY&redir\\_esc=y#v=onepage&q=goetschalckx%20supply%20chain&f=false](https://books.google.be/books?hl=nl&lr=&id=BvKByj_BgCYC&oi=fnd&pg=PP5&dq=goetschalckx+supply+chain&ots=L7PTL8I1bo&sig=vh8Z1RwrmrvslyMk_CbgnnnJfVNY&redir_esc=y#v=onepage&q=goetschalckx%20supply%20chain&f=false)



- Iwan, S., Kijewska, K., & Lemke, J. (2016). Analysis of parcel lockers' efficiency as the last mile delivery solution: The results of the research in Poland. *Transportation Research Procedia*, 12, pp. 644-655. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2016.02.018>
- Kolen, A., Kan, A., & Trienekens, H. (1987). Vehicle routing with time windows. *Operations research*, 35, pp 266-273.
- Lee, H., Maowei, C., Hoang, T., & Choo, S. (2019). Development of a Decision Making System for Installing Unmanned Parcel Lockers: Focusing on residential complexes in Korea. *KSCE Journal of Civil Engineers*, 23, pp. 2713-2722. DOI 10.1007/s12205-019-1398-y.
- McKinnon, A, & Tallam, D. (2003). Unattended delivery to the home: an assessment of the security implications. *International Journal of Retail & Distribution Management*, 31, pp.30-41. <https://doi.org/10.1108/09590550310457827>
- Murray, C., & Chu, A. (2015). The flying sidekick traveling salesman problem: Optimization of drone-assisted parcel delivery. *Transportation Research part C: Emerging Technologies*, 54, pp. 86-109. <https://doi.org/10.1016/j.trc.2015.03.005>
- Pisinger, D., & Røpke, S. (2007). A general heuristic for vehicle routing problems. *Computers & Operations Research*, 34, pp 2403-2435.
- Purnamasari, C., & Santoso, A. (2018). Vehicle routing problem (VRP) for courier service: A review. *MATEC Web of Conferences*, 204, pp. 7007-7016. <https://doi.org/10.1051/mateconf/201820407007>
- Saghiri, S., Wilding, R., Mena, C., & Bourlakis, M. (2017). Toward a three-dimensional framework for omni-channel. *Journal of Business*, 77, pp. 53-67. <https://doi-org.bib-proxy.uhasselt.be/10.1016/j.jbusres.2017.03.025>
- Salani, M., & Battarra, M. (2018). The opportunity cost of time window violations. *EURO J Transp Logist*, 7, pp 343-361.
- Tamas, B., Béla, I., & Agota, B. (2018). Smart Scheduling: An Integrated First Mile and Last Mile Supply Approach. Retrieved from <https://search-proquest-com.bib-proxy.uhasselt.be/docview/2083613371?pq-origsite=summon>. doi:10.1155/2018/5180156
- Tas, D., Gendreau, M., Dellaert, N., van Woensel, T., & de Kok, A. (2014). Vehicle routing with soft time windows and stochastic travel times: A column generation and branch-and-price solution approach. *European Journal of Operational Research*, 236, pp 789-799.
- Toth, P., & Vigo, D. (2014). *Vehicle routing problems, methods and applications* (2). Verenigde Staten: Society for industrial & applied economics.
- Vakulenko, Y., Shams, P., Hellström, D., & Hjort, K. (2019). Service innovation in e-commerce last mile delivery: Mapping the e-customer journey. *Journal of Business Research*, 101, pp. 461-468. <https://doi-org.bib-proxy.uhasselt.be/10.1016/j.jbusres.2019.01.016>
- van Duin, J., de Goffau, W., Wiegemans, B., Tavasszy, L., & Saes, M. (2015). Improving Home Delivery Efficiency by using Principles of Address Intelligence for B2C Deliveries. *Transportation Research Procedia*, 12, pp 14-25.
- Verhoef, P., Kannan, P., & Inman, J. (2015). From multi-channel retailing to omni-channel retailing: Introduction to the special issue on multi-channel retailing. *Journal of retailing*, 91, pp. 174-181. <https://dx.doi.org/10.1016/j.jretai.2015.02.005>
- Wang, X., Ying, Y., Zhong, R., & Huang, G. (2017). E-commerce logistics in supply chain management: Implementations and future perspective in furniture industry. *Industrial Management & Data Systems*, 117, pp. 2263-2286. <https://doi-org.bib-proxy.uhasselt.be/10.1108/IMDS-09-2016-0398>

- Wang, Y., Zhang, D., Liu., Shen, F., & Hay Lee, L. (2016). Towards enhancing the last-mile delivery: An effective crowd-tasking model with scalable solutions. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 93, pp.279-293. <https://doi-org.bib-proxy.uhasselt.be/10.1016/j.tre.2016.06.002>
- Yang, F., Wang, Y., Yuan, W., & Li, J. (2014). A Robust VRPHTW with Travel Time Uncertainty. *Journal of Systems Science and Information*, 2, pp 289-300.
- Yang, X., Strauss, A., Currie, M., & Eglese, R. (2016). Choice-Based Demand Management and Vehicle Routing in E-Fulfillment. *Transportation Science*, 50, pp 473-488.