



UHASSELT

KNOWLEDGE IN ACTION

Faculteit Bedrijfseconomische Wetenschappen

master handelsingenieur

Masterthesis

Integratie van inventarismanagement en rittenplanning in e-fulfilment met meerdere depots

Kenneth Cloosen

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

PROMOTOR :

Prof. dr. Kris BRAEKERS



UHASSELT

KNOWLEDGE IN ACTION

www.uhasselt.be

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

2021
2022



Faculteit Bedrijfseconomische Wetenschappen

master handelsingenieur

Masterthesis

Integratie van inventarismanagement en rittenplanning in e-fulfilment met meerdere depots

Kenneth Cloosen

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

PROMOTOR :

Prof. dr. Kris BRAEKERS

WOORD VOORAF

De voltooiing van deze masterproef was een zeer uitdagend, maar tevens leerrijk onderdeel van mijn laatste jaar als student Handelsingenieur: Operationeel Management & Logistiek aan de universiteit Hasselt.

Ik heb gekozen voor dit onderwerp aangezien ik tijdens het ontplooiën tot master binnen de logistiek vaak in contact kwam met rittenplanningsproblemen. Deze problemen vond ik het meest interessant omwille van hun dynamisch karakter en vanwege de grote impact die rittenplanning vandaag op ons heeft. Met deze masterproef heb ik als doel om het onderzoek omtrent de integratie en coördinatie van inventarismanagement en rittenplanning in e-fulfilment met meerdere depots uit te breiden.

Hiernaast wil ik in dit korte gedeelte graag de mensen bedanken die dit alles mogelijk hebben gemaakt. In de eerste plaats wil ik mijn promotor Prof. Dr. Kris Braekers bedanken voor de begeleiding en constructieve feedback die hij in de loop van de afgelopen maanden heeft gegeven. De tijd die hij vrijmaakte om mijn voortgang te bespreken en de algemene begeleiding die ik kreeg, waardeer ik ten zeerste. Ik heb het gevoel dat ik echt veel geleerd heb tijdens de laatste maanden werken aan dit onderwerp. Dit voornamelijk op vlak van statistiek en op vlak van programmeren binnen Python. Ten tweede gaat een blijk van waardering uit naar mijn vriend en masterstudent in informatica Brent Zoomers. Hij heeft mij veel bijgeleerd op vlak van Python en heeft mij meer dan één keer geholpen wanneer ik niet meer wist hoe ik verder moest programmeren. Ten slotte gaat mijn dank uit naar al mijn overige vrienden en familie die mij gedurende deze maanden en de jaren daarvoor hebben gesteund. Ik wil mijn medestudenten bedanken, mijn vrienden uit Diepenbeek, Hoeselt en Tongeren, mijn vriendin en natuurlijk mijn ouders. Zij hebben me voorzien van alles wat ik nodig had en me een nooit aflatende steun betoond. Waarvoor hartelijk dank.

Kenneth Cloosen

Borgloon, Augustus 2022

SAMENVATTING

In de voorbije jaren heeft e-commerce een sterke groei doorgemaakt die nog steeds aanhoudt. Hierdoor hebben meerdere detailhandelaren een online verkoopkanaal geïmplementeerd. Dit zorgt ervoor dat de nood aan e-fulfilment is gestegen en dat detailhandelaren geconfronteerd worden met allerlei uitdagingen. Deze masterproef focust zich op één van deze uitdagingen, namelijk de integratie van inventarismanagement en rittenplanning in e-fulfilment met meerdere depots. De depots van een detailhandelaar moeten beschikken over optimale voorraadniveaus. Hierdoor kunnen zo veel mogelijk klanten worden voldaan en kunnen kosten die gepaard gaan met tekorten (shortage kost) en overschotten (holding kost) geminimaliseerd worden. De shortage kost en de holding kost vormen samen de voorraadkosten van een depot. Daarenboven moeten de detailhandelaren ervoor zorgen dat de klanten beleverd worden vanuit deze depots door een optimale rittenplanning te maken. Het coördineren van deze depots op vlak van inventaris en distributie kan moeilijk verlopen vanwege de stochastische vraag. Deze problemen met betrekking tot coördinatie kunnen leiden tot hogere kosten, waaronder een hogere voorraadkost en in sommige gevallen een hogere transportkost. Hierbinnen vormt de som van de voorraadkosten en de transportkosten de e-fulfilment kost.

Het eerste hoofdstuk van de masterproef leidt de context in van e-fulfilment en licht toe welke problemen kunnen ontstaan wanneer inventaris en rittenplanning van meerdere depots niet op elkaar worden afgestemd. Daarenboven wordt een oplossing geïntroduceerd waarbij depots onderling gaan samenwerken met elkaar door inventaris te delen. Dit concept wordt omschreven als pooling. Hierbinnen worden twee verschillende vormen van pooling besproken en wat hun meerwaarde kan zijn binnen een logistiek systeem. De eerste vorm is het gebruik van laterale transshipments en de tweede vorm is het gebruik van distribution sharing. Vervolgens worden vier onderzoeksvragen geïntroduceerd. Deze onderzoeksvragen luiden als volgt: (1) *'Wat is de huidige stand van zaken in de wetenschappelijke literatuur over laterale transshipments en multi depot vehicle routing problemen met betrekking tot e-commerce?'*, (2) *'Zorgt het gebruiken van geoptimaliseerde voorraadniveaus ervoor dat de shortage kost en holding kost worden vermeden?'*, (3) *'Wat is het effect van inventaris pooling aan de hand van laterale transshipments en distribution sharing op de voorraadkosten, transportkosten en e-fulfilment kosten van een detailhandelaar met meerdere depots? Dit in vergelijking met een detailhandelaar met meerdere depots die geen pooling toepast.'* en (4) *'Welke van beide poolingmethodes genereert lagere voorraadkosten, transportkosten en e-fulfilment kosten ten opzichte van elkaar?'*. Om deze onderzoeksvragen te beantwoorden wordt in eerste instantie een literatuurstudie uitgevoerd. In tweede instantie wordt een empirisch onderzoek opgestart waarbij drie symmetrische logistieke systemen worden onderzocht. Deze logistieke systemen zijn een systeem zonder pooling, een systeem met pooling door reactieve transshipments en een systeem met pooling door distribution sharing. Ieder logistiek systeem bevat modellen met twee en drie distributiecentra die onderworpen worden aan een hoge en lage shortage kost per eenheid. Voor deze logistieke systemen worden de voorraadniveaus geoptimaliseerd en wordt over 100 periodes nagegaan of de shortage en holding kost verschillend zijn

van nul. Verder worden de systemen met elkaar vergeleken op vlak van voorraadkosten, transportkosten en e-fulfilment kosten om na te gaan welk systeem beter presteert. Dit wordt gedaan door gebruik te maken van synthetisch gegenereerde data, geprogrammeerde algoritmes binnen Python, Gurobi/Gurobipy en Microsoft Excel en door one-sample en gepaarde t-testen uit te voeren. Aan het einde van dit hoofdstuk wordt aangegeven welke assumpties worden toegepast binnen de logistieke systemen.

Het tweede hoofdstuk geeft een overzicht van de literatuur omtrent inventaris pooling en laterale transshipments met een focus op reactieve transshipments, multi depot vehicle routing problemen en de integratie van inventarismanagement met multi depot vehicle routing problemen. Hieruit kan worden afgeleid dat voldoende onderzoek is uitgevoerd naar reactieve transshipments en multi depot vehicle routing problemen. Echter blijkt dat onderzoek van reactieve transshipments en multi depot vehicle routing problemen binnen een e-commerce context schaars was. Daarenboven is er een gebrek aan literatuur omtrent de integratie van inventarismanagement met multi depot vehicle routing problemen. Dit gaf aan dat verder onderzoek binnen de e-commerce context moet worden uitgevoerd.

Het derde hoofdstuk gaat dieper in op het empirisch onderzoek. Hierbinnen wordt eerst de generatie van synthetische data verklaard. Na het verklaren van de gegenereerde data worden drie logistieke systemen opgesteld en uitbundig toegelicht. Het systeem zonder pooling bevat depots die enkel hun toegewezen klanten beleverd. Als een depot te weinig voorraad heeft in een periode, dan worden de verste klanten niet voldaan en ontstaan er tekorten wat leidt tot shortage kost. Als het depot te veel voorraad heeft ontstaan er overschotten wat leidt tot holding kost. Verder wordt voor ieder depot in iedere periode een rittenplanning berekend aan de hand van een capacitated vehicle routing probleem. Hierbij wordt gebruik gemaakt van twee algoritmes om na te gaan welke klanten kunnen voldaan worden en om de rittenplanning uit te voeren. Het systeem met pooling door reactieve transshipments bevat depots die enkel hun toegewezen klanten beleveren. Als tekorten ontstaan dan gaan depots met overschotten transshipments uitvoeren naar de depots met de tekorten. Hierdoor worden de voorraadniveaus van de depots aangepast en worden klanten beleverd aan de hand van een capacitated vehicle routing probleem. Hierbij wordt gebruik gemaakt van drie algoritmes om te kijken welke klanten worden voldaan, de overschotten en de tekorten te bepalen, om de voorraadniveaus van de depots aan te passen als een transshipment wordt uitgevoerd en om de rittenplanning uit te voeren. Het systeem met pooling door distribution sharing gaat achterhalen welke depots overschotten en tekorten hebben. Eens duidelijk is welke depots tekorten hebben, worden klanten van depots met tekorten toegewezen aan depots met overschotten zodat tekorten worden weggewerkt. Wanneer de klanten zijn herverdeeld wordt de rittenplanning uitgevoerd aan de hand van een capacitated vehicle routing probleem. Hierbij wordt gebruik gemaakt van twee algoritmes om de klanten te herverdelen en om de rittenplanning uit te voeren.

Het vierde en vijfde hoofdstuk omschrijven en bespreken de resultaten van het empirisch onderzoek. Uit het empirisch onderzoek blijkt dat de geoptimaliseerde inventarisniveaus ervoor kunnen zorgen dat de gemiddelde shortage kost wordt vermeden. Echter is dat niet altijd het geval voor een systeem dat

geen pooling toepast. Dit geeft aan dat samenwerking tussen depots toch belangrijk is om de tekorten te vermijden. De overschotten van ieder systeem werden nooit vermeden. Bij het vergelijken van de logistieke systemen wordt duidelijk dat ieder poolingsysteem significant lagere gemiddelde voorraadkosten en e-fulfilmentkosten bevatten dan het systeem dat geen pooling toepast. Het systeem dat geen pooling toepast beschikt over significant lagere gemiddelde transportkosten. Dit heeft te maken met het feit dat het systeem zonder pooling in sommige periodes minder klanten voldoet. Tijdens het vergelijken van beide poolingsystemen met elkaar wordt duidelijk dat beide systemen over identieke voorraadkosten beschikken. Hiernaast blijkt dat beide systemen geen significant gemiddeld verschillende transportkosten en e-fulfilmentkosten hebben voor de modellen waarbij twee depots worden onderzocht. Echter beschikt het logistiek systeem met distribution sharing over significant lagere gemiddelde transportkosten en e-fulfilmentkosten voor de modellen waarbij drie depots worden onderzocht.

Het zevende hoofdstuk bevat de conclusie van het onderzoek. Zo kan geconcludeerd worden dat het optimaliseren van de voorraadniveaus de shortage kosten niet altijd kan vermijden binnen een systeem zonder pooling maar dat het gebruik van pooling dit wel kan garanderen. Daarenboven presteert ieder systeem dat pooling toepast beter dan het systeem dat geen pooling toepast wat erop wijst dat coördinatie tussen depots voor lagere kosten zorgt in vergelijking met geen coördinatie tussen depots. Tot slot werd duidelijk dat het gebruik van distribution sharing voor lagere kosten kan zorgen als een detailhandelaar over drie depots beschikt en dat er geen significant verschil is tussen beide poolingmethodes wanneer een detailhandelaar over twee depots beschikt.

Het laatste hoofdstuk bevat de beperkingen van het onderzoek en enkele aanbevelingen naar de toekomst toe. Enkele voorbeelden hiervan zijn het aantal depots, de shortage kosten per eenheid enzovoorts. De grootste beperking binnen dit onderzoek heeft te maken met de Gurobi/Gurobipy software. In eerste instantie werd gekozen voor een runtime van 5 minuten om de optimale rittenplanning te bepalen. Doordat hier een limiet aanwezig is, kan de optimale rittenplanning niet voor ieder depot in iedere periode worden gevonden. In tweede instantie worden meerdere modellen gelijktijdig gerund waardoor de calculaties minder nauwkeurig zijn.

INHOUDSOPGAVE

1	Probleemstelling	1
1.1	PRAKTIJKRELEVANTIE	1
1.2	ONDERZOEKSVRAAG	3
1.3	METHODOLOGIE	4
2	Literatuurstudie	7
2.1	INVENTORY POOLING & LATERALE TRANSSHIPMENTS.....	7
2.2	MULTI DEPOT VEHICLE ROUTING PROBLEM	13
2.3	INTEGRATIE INVENTARIS MANAGEMENT & MULTI DEPOT VEHICLE ROUTING PROBLEMEN	17
3	Opzet empirisch onderzoek.....	21
3.1	GENEREREN DATA & ASSUMPTIES	23
3.2	SYSTEEM ZONDER POOLING.....	26
3.2.1	Optimale inventarisbeleid	27
3.2.2	Ordertoewijzing	27
3.2.3	Rittenplanning	28
3.2.4	Samenvatting.....	28
3.3	SYSTEEM MET POOLING VAN INVENTARIS VIA LATERALE TRANSSHIPMENTS	29
3.3.1	Optimale inventarisbeleid	30
3.3.2	Ordertoewijzing	31
3.3.3	Transshipments en nieuwe voorraadniveaus	31
3.3.4	Nieuwe ordertoewijzing	31
3.3.5	Rittenplanning	31
3.3.6	Samenvatting.....	32
3.4	SYSTEEM MET POOLING VAN INVENTARIS VIA DISTRIBUTION SHARING.....	32
3.4.1	Optimale inventarisbeleid	33
3.4.2	Ordertoewijzing	34
3.4.3	Rittenplanning	35
3.4.4	Samenvatting.....	35
4	Resultaten	37

4.1	OPTIMALE INVENTARIS.....	37
4.1.1	Inventarismanagement met geen pooling.....	39
4.1.2	Inventarismanagement met pooling aan de hand van reactie transshipments	40
4.1.3	Inventarismanagement met pooling aan de hand van distribution sharing.....	41
4.2	OPTIMALE SYSTEMEN	41
4.2.1	Vergelijking Geen Pooling VS Reactieve Transshipments	42
4.2.2	Vergelijking Geen Pooling VS Distribution Sharing.....	44
4.2.3	Vergelijking Reactieve Transshipments VS Distribution Sharing	46
5	DISCUSSIE	49
5.1	DISCUSSIE OPTIMALE INVENTARIS.....	49
5.1.1	Discussie inventarismanagement met geen pooling.....	50
5.1.2	Discussie inventarismanagement met pooling aan de hand van reactieve transshipments.....	50
5.1.3	Discussie inventarismanagement met pooling aan de hand van distribution sharing....	51
5.2	DISCUSSIE OPTIMALE SYSTEMEN	51
5.2.1	Discussie Geen Pooling VS Reactieve Transshipments.....	51
5.2.2	Discussie Geen Pooling VS Distribution Sharing	54
5.2.3	Discussie Reactieve Transshipments VS Distribution Sharing	56
6	CONCLUSIE.....	59
7	BEPERKINGEN	61
8	Bibliografie.....	63
9	BIJLAGEN	67
9.1	DATA.....	67
9.2	KOSTEN VAN SYSTEMEN VERGELIJKEN.....	71
9.3	GAPS VERGELIJKEN.....	83

1 PROBLEEMSTELLING

1.1 PRAKTIJKRELEVANTIE

Het internet kan voor verschillende doeleinden gebruikt worden, waaronder het verkopen van goederen. Deze verkoop van goederen aan de hand van een online platform is beter bekend als e-commerce. E-commerce heeft in het voorbije decennia een forse groei doorgemaakt, voornamelijk binnen de detailhandel. Zo bedroeg de omzet uit e-commerce in de detailhandel wereldwijd 4,28 biljoen dollar in 2020 en in 2022 wordt er een groei in inkomsten verwacht tot 5,4 biljoen dollar (Statista, 2021a). Dit toont aan dat e-commerce winstgevend kan zijn voor diegene die het gebruiken om goederen te verkopen. Deze notie wordt bevestigd door Xia and Zhang (2010). Uit hun onderzoek blijkt dat het toevoegen van een online verkoopkanaal voor verbeteringen kan zorgen op vlak van verkoop, kosten, inventaris en return on investments. Daarom is het tegenwoordig vanzelfsprekend voor detailhandelaren om zowel een traditioneel verkoopplatform als een online verkoopplatform te bezitten om goederen te verkopen (Agatz et al., 2008).

De aanpak van zowel een traditioneel als een online verkoopplatform te gebruiken om goederen te verkopen kan ondergebracht worden onder het concept multi-channel retailing. Hierbij worden meerdere kanalen gebruikt om goederen te verkopen aan klanten. In recente jaren is een overgang vastgesteld van multi-channel retailing naar omni-channel retailing. Zo is bijna één op de twee besluitvormers, op het beleid van e-commerce in Europa en Noord-Amerika, van mening dat omni-channel strategieën in 2021 zeer belangrijk zullen zijn (Statista, 2021b). Omni-channel retailing is een verkoopstrategie waarbij de grenzen tussen het traditionele en het online verkoopkanaal vervagen. Zo kunnen klanten binnen een omni-channel systeem naadloos van het ene kanaal naar het andere overgaan (Verhoef et al., 2015). Een voorbeeld hiervan is showrooming, waarbij klanten naar een traditionele winkel gaan om producten te bekijken en te ervaren. Vervolgens bestellen de klanten de producten in de winkel via een onlinekanaal zodat de producten thuis worden geleverd. Deze generatie in online orders wordt ondersteund door technologieën zoals interactieve schermen en zorgt ervoor dat e-commerce nog prominenter wordt (Piotrowicz & Cuthbertson, 2014).

Doordat detailhandelaren tegenwoordig een online verkoopplatform toevoegen aan hun kanaalmix, moeten ze ervoor zorgen dat de orders die voortvloeien uit hun online verkoopplatform worden voldaan. Om aan deze orders te voldoen wordt e-fulfilment toegepast. E-fulfilment is een uitgebreid proces, gefocust op logistiek, opslag en leveringsdiensten die geassocieerd zijn met online verkoop. Enkele activiteiten waar e-fulfilment zich mee bezighoudt zijn picking, packing, customer service, delivery enzovoort (Burn & Alexander, 2005).

Het voldoen van orders wordt volgens Gong et al. (2010) omschreven als de duurste en meest kritische operatie voor bedrijven die zich bezighouden met e-commerce. Het wordt in eerste instantie omschreven als de duurste operatie vanwege de kosten die ermee gepaard gaan. Deze kosten zijn o.a.

transportkosten en voorraadkosten, die samen de e-fulfilment kost vormen. Transportkost focust zich op de kosten die het leveren met zich meebrengt. Zo wordt last mile delivery omschreven als een van de grootste componenten van fulfilment kost Xu et al. (2009). De voorraadkost focust zich op het overmatig bijhouden van inventaris (holding kost) en tekorten van inventaris (shortage kost). In tweede instantie wordt het omschreven als een kritische operatie want het zorgt ervoor dat klanten hun gekochte producten kunnen ontvangen. Als niet aan de eisen van de klanten kan worden voldaan, kan dit leiden tot een verlies van vaste klanten. Dit zorgt op zijn beurt voor een daling in de inkomsten van een detailhandelaar.

De nood aan e-fulfilment is sterk gegroeid in de voorbije jaren. Dat heeft te maken met de forse groei die e-commerce heeft doorgemaakt. Deze groei in e-commerce, in een wereld waar omni-channel retailing de norm aan het worden is, zorgt voor verschillende uitdagingen voor het e-fulfilment proces. Een van deze uitdagingen is de integratie tussen het inventaris management in meerdere depots van de detailhandelaar en de distributie vanuit deze depots naar de finale klanten. Hierbinnen worden depots en distributiecentra als synoniemen gebruikt. Het kan moeilijk zijn om meerdere depots te coördineren op het vlak van inventaris en distributie vanwege de stochastische vraag waaraan de depots worden onderworpen. Deze problemen over coördinatie kunnen leiden tot hogere e-fulfilment kosten.

Een oplossing om hogere kosten tegen te gaan kan pooling zijn. Hierbij zouden meerdere depots kunnen samenwerken om eventueel de e-fulfilment kost te verminderen. Een eerste vorm van pooling is het poolen van inventaris aan de hand van laterale transshipments. Bij het gebruik van laterale transshipments, kunnen er overblijvende producten in één depot getransporteerd worden naar een ander depot om tekorten te voorkomen. Paterson et al. (2011) onderscheidt twee types van laterale transshipments. Het eerste type is proactieve transshipments waarbij transshipments worden uitgevoerd op een vooraf bepaald tijdstip voordat de vraag bekend is. Het tweede type is reactieve transshipments waarbij transshipments ieder moment kunnen plaatsvinden als reactie op een tekort of op het risico van een tekort. Hierbij kan een depot dat kampt met tekorten of een hoog risico heeft op tekorten, bevoorrad worden door een bevoorradingspunt met voldoende inventaris. Deze laterale transshipments worden toegepast zodat voorraad opnieuw kan verdeeld worden over alle voorraadpunten van één of meerdere echelons. Glazebrook et al. (2015) identificeert nog een derde type, namelijk hybride transshipments wat een mix is tussen proactieve transshipments en reactieve transshipments. Hierbij worden economies of scale toegepast om ogenblikkelijke tekorten en toekomstige tekorten gelijktijdig aan te pakken.

Een tweede vorm van pooling is het poolen van distributie. Deze manier van poolen komt voor in een variant van het vehicle routing problem (VRP), namelijk het multi depot vehicle routing problem (MDVRP). Hierbij kan iedere klant beleverd worden door eender welk depot (Montoya-Torres et al., 2015). De leveringen worden gezamenlijk uitgevoerd door alle depots. De pooling ontstaat van nature om de meest kost efficiënte leveringsroute te bekomen. Doordat ieder depot samenwerkt om klanten te beleveren, worden de inventarissen indirect gepooled. Deze methode van pooling kan geïdentificeerd worden als distribution sharing. Echter houden de MDVRP's die momenteel in de literatuur bestudeerd

worden geen rekening met de inventaris van een depot en gaan ze ervan uit dat ieder depot voldoende inventaris beschikbaar heeft.

Deze twee vormen van pooling hebben een verschil in perspectief en maken andere assumpties. Bij het poolen van inventaris is een bepaalde hoeveelheid inventaris beschikbaar die gepooled kan worden om klanten te kunnen voorzien van goederen zodat voorraadkosten geminimaliseerd kunnen worden. Bij het poolen van distributie is er een overvloed aan voorraad, worden goederen gepooled en worden klanten beleverd op een manier waarbij transportkosten geminimaliseerd kunnen worden. Het lijkt interessant om te achterhalen hoe beide manieren van pooling geïntegreerd kunnen worden in een multi-depot context. Dit zou van belang kunnen zijn voor detailhandelaren die over meerdere distributiecentra beschikken en zich focussen op de rittenplanning en op het inventaris management van hun depots. Zo zouden detailhandelaren meer inzicht kunnen krijgen over hoe ze hun transportkosten en voorraadkosten kunnen verminderen. Dit aangezien de transportkosten en voorraadkosten belangrijke aspecten zijn binnen de hedendaagse verkoopstrategieën van verschillende detailhandelaren.

1.2 ONDERZOEKSVRAAG

Om verder inzicht te verwerven in het optimaliseren van de voorraadniveaus en in het effect van poolen, zullen verschillende parameters onderzocht moeten worden. Deze parameters zijn: (1) de transportkosten die een bedrijf oploopt bij het voldoen en leveren van orders, (2) de voorraadkosten die een bedrijf oploopt bij het bijhouden van overtollige inventaris (holding kost) en het niet voldoen van orders door tekorten (shortage kost) en (3) de e-fulfilment kosten die de som omvat van de transportkosten en de voorraadkosten. Vervolgens worden volgende onderzoeksvragen opgesteld:

RQ1: Wat is de huidige stand van zaken in de wetenschappelijke literatuur over laterale transshipments en multi depot vehicle routing problemen met betrekking tot e-commerce?

RQ2: Zorgt het gebruiken van geoptimaliseerde voorraadniveaus ervoor dat de shortage kost en holding kost worden vermeden?

RQ3: Wat is het effect van inventaris pooling aan de hand van laterale transshipments en distribution sharing op de voorraadkosten, transportkosten en e-fulfilment kosten van een detailhandelaar met meerdere depots? Dit in vergelijking met een detailhandelaar met meerdere depots die geen pooling toepast.

RQ4: Welke van beide poolingmethodes genereert lagere voorraadkosten, transportkosten en e-fulfilment kosten ten opzichte van elkaar?

Het doel van deze masterproef is het zoeken naar antwoorden op bovenstaande onderzoeksvragen. Dit wordt gedaan door in eerste instantie een literatuurstudie uit te voeren. In tweede instantie worden beide poolingsystemen vergeleken met een systeem dat geen pooling toepast en worden beide inventaris pooling systemen met elkaar te vergeleken. Door bovenstaande onderzoeksvragen te

beantwoorden, is het mogelijk om de kennis te vergroten over welk onderzoek er al bestaat over laterale transshipments en distribution sharing met betrekking tot e-commerce. Hiernaast kan achterhaald worden wat het effect is van pooling aan de hand van laterale transshipments en distribution sharing op de verschillende kosten van een detailhandelaar. Tot slot kan worden blootgelegd welke van beide poolingmethodes de laagste kosten genereert.

1.3 METHODOLOGIE

Aan de hand van wetenschappelijke artikels, die verzameld worden via verschillende databases en betrouwbare websites, wordt een literatuurstudie uitgevoerd. De literatuurstudie wordt uitgevoerd om inzicht te verkrijgen over de bestaande literatuur van laterale transshipments, multi depot vehicle routing problemen en de integratie tussen beide. Deze literatuur wordt opgezocht via databases zoals de UHasselt bibliotheek, Google Scholar en Google. Er wordt voornamelijk gezocht naar Engelstalige en Nederlandstalige wetenschappelijke artikels vanaf het jaar 2000 en iets oudere artikels die meer kennis verschaffen over reactieve laterale transshipments en multi depot vehicle routing problemen. De zoektermen die zullen gebruikt worden in het verwerven van artikels zullen zich focussen op volgende categorieën; (1) omni-channel en multi-channel (omni-channel, multi-channel, dual channel...), (2) e-fulfilment (order assignment, e-commerce, e-fulfilment...), (3) inventory pooling (inventory pooling, reactieve laterale transshipments, single-item, multi-item, one echelon...) en (4) rittenplanning (VRP, MDVRP, distribution pooling...). Verder wordt gebruik gemaakt van de sneeuwbalmethode. Dit is een zoekmethode waarbij de referentielijsten van eerder gevonden bronnen worden geraadpleegd om verdere literatuur over het onderzoeksonderwerp te bemachtigen.

Naast de literatuurstudie wordt een empirisch onderzoek uitgevoerd aan de hand van synthetisch gegenereerde data. Dit empirisch onderzoek baseert zich op een situatie waarbij een detailhandelaar over twee of drie distributiecentra bezit die leveringen gaan uitvoeren over 100 periodes. Deze distributiecentra zullen over een voorraad bezitten van één goed die aan de start van iedere periode wordt bijgevuld door een centraal warehouse. Wanneer de distributiecentra weer over een vervulde voorraad bezitten, dan zullen ze eventueel gebruik maken van een pooling methode. Als vervolgens de keuze is gemaakt om wel of niet gebruik te maken van een bepaalde pooling methode, dan starten de depots met het beleveren van klanten. Klanten en de vraag van klanten worden toegewezen aan één van de twee of drie depots. Op basis daarvan ontstaat een geaggregeerde vraag Q_i voor ieder depot waaruit een specifiek routeplan tot stand kan komen. Als de vraag van een depot groter is dan de voorraad van een depot, dan worden de klanten die zich het verste van het depot bevinden niet beleverd.

Om bovenstaande situatie te bestuderen worden drie modellen opgesteld. Deze modellen zijn gebaseerd op de modellen die werden opgesteld binnen het doctoraatsonderzoek van Arnold (2018). Het eerste model heeft betrekking op een scenario waarbij geen pooling wordt toegepast. Het tweede model legt zich toe op een scenario waarbij pooling plaatsvindt aan de hand van reactieve laterale transshipments. Tot slot focust het derde model zich op een scenario waarbij pooling wordt toegepast aan de hand van distribution sharing.

Binnen ieder model wordt eerst een inventaris bepaald voor ieder depot door een order-up-to level S_i voor ieder depot te bepalen. Deze order-up-to levels worden bepaald door een eerste instantie aan synthetische data te genereren en hiervoor de verschillende voorraadkosten (de shortage en holding kosten) te minimaliseren over 100 periodes. Eens deze order-up-to levels zijn bepaald, wordt een tweede instantie aan synthetische data gegenereerd voor 100 periodes. Eens deze tweede instantie aan data is gegenereerd worden voorraadkosten bekomen. Daaropvolgend wordt gekeken welke klanten kunnen voldaan worden en welke routing de depots kunnen uitvoeren om de klanten te voldoen.

Enkele assumpties die gemaakt worden bij het analyseren van de modellen zijn;

- Er wordt gekozen voor een constant order interval. Hierbij wordt gebruik gemaakt van het (S-1, S) inventaris model. Bij het (S-1, S) model gaat men uit dat aan de start van iedere periode, een order wordt geplaatst om de inventaris binnen de depots weer aan te vullen.
- Bij het onderzoeken van de modellen wordt gekozen voor verwaarloosbare lead times. Dit wil zeggen dat als er een order wordt geplaatst om de voorraad binnen de depots weer aan te vullen, deze voorraad onmiddellijk wordt aangevuld aan de start van iedere periode.
- Ieder depot bevat eenzelfde kostenstructuur. Dit wil zeggen dat de behandelingskosten over goederen te verplaatsen in het warehouse, goederen te verpakken, administratie... in ieder warehouse hetzelfde zijn. Hierdoor kan gefocust worden op de e-fulfilment kosten en de kosten die hieronder vallen (voorraadkosten (holding en shortage kosten) en transportkosten).
- Lost sales worden toegepast. Hierbij wordt uitgegaan dat klanten die niet konden voldaan worden in de toegewezen periode, omwille van te weinig voorraad, ook niet voldaan worden in de daaropvolgende periodes. Deze assumptie zorgt ervoor dat het complexe model vereenvoudigd wordt.
- Bij het onderzoeken van de modellen wordt verondersteld dat een klant een vraag gealloceerd krijgt binnen een bepaald interval. Dit wil zeggen dat de vraag gekend is.
- Enkel de dichtstbijzijnde klanten worden bediend door het depot in het geval van een tekort. Dit wil zeggen dat de klanten die zich in het servicegebied van het distributiecentrum bevinden en er is onvoldoende inventaris in het distributiecentrum om één extra klant te belevieren binnen zijn service gebied, dan wordt deze niet beleverd.
- Er zijn voldoende voertuigen met voldoende capaciteit om de gehele voorraad te kunnen leveren. Ieder voertuig beschikt over een capaciteit van 50 eenheden.

Dit empirisch onderzoek wordt gebruikt om de onderzoeksvragen te beantwoorden over de effecten van geoptimaliseerde voorraden en van pooling op de verschillende kosten van een bedrijf. De vragen zullen beantwoord worden aan de hand van wiskundige modellen en algoritmes die worden opgebouwd binnen verschillende wiskundige softwarepakketten. De softwarepakketten die gebruikt worden binnen dit onderzoek zijn Microsoft Excel, Python en Gurobi/Gurobipy (versie 9.5.2). De verschillende algoritmes die werden opgesteld zijn algoritmes om de order-up-to levels te bepalen (excel), om de ordertoewijzing uit te voeren voor de depots, de voorraadniveaus te veranderen en om de rittenplanning te berekenen (Python, Gurobi/Gurobipy).

Tot slot worden eerst de voorraadniveaus binnen ieder systeem geanalyseerd aan de hand van one-sample t-testen. Deze worden geanalyseerd door na te gaan of de shortage en holding kosten significant verschillend zijn van 0. Als tweede worden de voorraadkosten, transportkosten en de e-fulfilmentkosten van de verschillende systemen vergeleken met elkaar aan de hand van gepaarde t-testen. Binnen deze masterproef wordt gebruik gemaakt van gepaarde t-testen omdat dezelfde vraag wordt gebruikt voor ieder systeem in iedere periode. Hierdoor kunnen de gemiddelde kosten met elkaar vergeleken worden en kan achterhaald worden welk systeem hogere of lagere kosten bevat.

2 LITERATUURSTUDIE

Binnen deze sectie van de masterproef wordt een overzicht gegeven van bestaand onderzoek binnen het concept integratie van inventarismanagement en rittenplanning in e-fulfilment met meerdere depots. Het eerste deel focust zich voornamelijk op het gedeelte van inventaris pooling en laterale transshipments. Het tweede deel spitst zich toe op VRP's, meer specifiek MDVRP's. Het derde onderdeel focust zich op literatuur waarbij inventaris en MDVRP samen worden onderzocht.

2.1 INVENTORY POOLING & LATERALE TRANSSHIPMENTS

Een uitdaging binnen de e-fulfilment context is de integratie tussen inventarismanagement in meerdere distributiecentra van een detailhandelaar en de distributie van goederen vanuit de distributiecentra naar de finale klant. Zo is het coördineren van inventaris en distributie moeilijk vanwege de stochastische vraag. Deze coördinatieproblemen zorgen op hun beurt voor een stijgende e-fulfilment kost.

Een oplossing om deze stijgende kosten tegen te gaan is het implementeren van pooling. Hierbij zouden meerdere depots kunnen samenwerken om eventueel de e-fulfilment kost te verminderen. Tagaras and Vlachos (2002) geven in hun paper aan dat het poolen van inventaris in sommige gevallen voordelig kan zijn. Dit hebben ze nagegaan binnen een systeem met twee detailhandelaren en één centraal warehouse. Deze literatuur wordt verder uitgebreid door Berman et al. (2011). Zij bevestigen dat er voordelen zijn op het vlak van kostenvermindering wanneer inventaris pooling wordt toegepast. Hiernaast kan een systeem dat gebruik maakt van pooling langer genieten van de verminderde kosten, zelfs wanneer hogere levels van variabiliteit aanwezig zijn in de vraag, dat in vergelijking met een systeem dat geen gebruik maakt van pooling. Dit hebben ze getest binnen een multi-location newsvendor framework. De paper van Bimpikis and Markakis (2016) komt tot dezelfde bevindingen omtrent de voordelen die ontstaan wanneer er gebruik wordt gemaakt van inventory pooling. Dit wil zeggen dat het gebruik van inventaris pooling voordelig kan zijn binnen verschillende scenario's.

Een vorm van inventory pooling die gebruikt wordt is laterale transshipments. Bij het gebruik van laterale transshipments, kunnen er overblijvende producten in één depot getransporteerd worden naar een ander depot om tekorten te voorkomen. Onderzoek over laterale transshipments kan in verschillende vormen voorkomen. Paterson et al. (2011) heeft een classificatie gemaakt binnen de literatuur van laterale transshipments. Deze classificatie is gebaseerd op enkele hoofdkenmerken die gerelateerd zijn aan het inventaris systeem, de ordering policy van voorraad en welk soort transshipments er worden toegepast. Een weergave hiervan is terug te vinden in tabel 1.

Hoofdkarakteristieken

<i>Aantal items</i>	Één, twee of M aantal items
<i>Aantal echelons</i>	Één, twee of P aantal echelons
<i>Aantal locaties/depots</i>	Twee, drie of N aantal locaties
<i>Identieke locaties</i>	Wel identieke locaties, enkel een identieke kost structuur of verschillende locaties
<i>Onvoldane vraag</i>	Gebruik maken van backorders of lost sales
<i>Timing van aanvullen voorraad</i>	Continuous review of periodic review
<i>Order policy</i>	(R, Q), (s, S), (S-1, S) of een overig type policy
<i>Type transshipments</i>	Proactieve, reactieve of hybride
<i>Type pooling</i>	Complete of partiële pooling
<i>Type van keuzes maken</i>	Gecentraliseerd of gedecentraliseerd
<i>Transshipment kost structuur</i>	Per item, per transshipment, beide of geen

Tabel 1: Hoofdkarakteristieken binnen de literatuur gerelateerd aan inventarissystemen, ordering policy van voorraad en transshipments.

Enkele vanzelfsprekende hoofdkarakteristieken zijn het aantal items dat gepooled kan worden in een logistiek systeem en het aantal locaties/depots die betrokken zijn binnen een logistiek systeem om transshipments uit te voeren. Zo kunnen één, twee of N items gepooled worden binnen een logistiek systeem en kunnen twee, drie of N aantal distributiecentra betrokken zijn binnen een logistiek systeem om transshipments uit te voeren. Één distributiecentrum zou niet mogelijk zijn aangezien meer dan één distributiecentrum nodig is om transshipments uit te kunnen voeren.

Verder kan een onderscheid worden gemaakt binnen de literatuur op het vlak van hoeveel echelons betrokken zijn binnen het logistiek proces. Hierbij duidt één echelon op een proces waarbij iedere echelon zich focust op zichzelf en wordt iedere echelon apart geoptimaliseerd. Zo gaan transshipments enkel plaatsvinden op één niveau. Een voorbeeld hiervan is dat depots onderling voorraad kunnen uitwisselen. Twee echelons betekent dat een systeem bekeken wordt met twee niveaus die mekaar inventaris willen optimaliseren. Hierbij kunnen transshipments plaatsvinden op twee niveaus. Dat wil zeggen dat depots onderling voorraad kunnen uitwisselen en dat één of meerdere centrale warenhuizen, die de depots beleverd, ook transshipments kan uitvoeren om de totale voorraadkosten van de twee niveaus te verminderen. Het gebruik van P echelons wil zeggen dat meerdere niveaus in de supply chain toestemming krijgen om transshipments uit te voeren. Zo zou een heel netwerk kunnen samenwerken om transshipments uit te voeren zodat de voorraadkosten van het logistiek systeem worden verminderd.

Een andere hoofdkarakteristiek binnen de literatuur gerelateerd aan inventaris is de manier waarop de locaties zijn samengesteld. Zo kunnen depots identiek zijn aan elkaar. Dit wil zeggen dat ieder depot in het logistiek systeem dezelfde hoeveelheid inventaris bijhoudt, op dezelfde manier handelt en een identieke structuur heeft. Hiernaast kunnen de depots enkel dezelfde koststructuur hebben en andere eigenschappen verschillend hebben van elkaar. Een laatste mogelijkheid is dat ieder distributiecentrum verschillend is van elkaar.

Hoe meerdere distributiecentra handelen wanneer een vraag niet kan worden voldaan kan verschillen tussen logistieke systemen. Een eerste manier hoe de distributiecentra kunnen handelen is het principe van backordering toepassen. Hierbij worden klanten die niet werden voldaan meegenomen naar de volgende periode. Deze klanten kunnen dan in de volgende periode worden voldaan. Een tweede manier hoe de distributiecentra kunnen handelen is volgens het lost sales principe. Binnen het lost sales principe worden klanten die niet werden voldaan, niet meegenomen naar de volgende periode en worden ze nooit voldaan.

De timing van het aanvullen van de inventarissen heeft een grote invloed op het desbetreffende logistiek systeem. De timing van het aanvullen van de inventarissen kan gebeuren op twee manieren, namelijk aan de hand van een periodisch review model of aan de hand van een continu review model. Binnen een periodisch review model worden producten elke periode aangevraagd op hetzelfde tijdstip totdat een bepaalde order-up-to level wordt bereikt. In tegenstelling tot een periodisch review model kan een continu review model worden toegepast. Binnen het continu review model worden in het algemeen eenzelfde hoeveelheid items besteld. De bestelfrequentie varieert bij een continu review model. Deze varieert aangezien de voorraad wordt bijgehouden en bestellingen worden geplaatst wanneer artikelen een bepaald niveau bereiken.

Verder kunnen voor verschillende logistieke systemen, verschillende order policies worden toegepast. In eerste instantie kan gebruik worden gemaakt van een (R, Q) order policy. Hierbij wordt de voorraad van een artikel voortdurend herzien en wordt een vaste hoeveelheid Q aangevraagd wanneer de voorraadpositie daalt tot het herordeningspunt R . In tweede instantie kan gebruik worden gemaakt van een (s, S) order policy. Dit tweede beleid is een minimum/maximum voorraadbeleid dat zegt dat wanneer de voorraad onder een bepaald minimum (s) daalt, de voorraad moet aangevuld worden zodat er weer een maximaal aantal van S producten in voorraad zijn. In derde instantie kan gebruik worden gemaakt van een $(S-1, S)$ order policy. Dit is een voorraadbeleid dat onmiddellijk een order zal plaatsen om de voorraad bij te vullen van zodra er verkoop wordt gegenereerd. Deze drie order policies zijn het populairste binnen de literatuur gerelateerd aan inventarissystemen, ordering policy van voorraad en transshipments. Daarnaast bestaan nog diverse andere order policies maar deze zijn echter minder populair. Door het gebrek aan populariteit worden deze niet in detail besproken.

Naast de grote variatie in het bepalen van hoe de voorraad is opgesteld kunnen de types van transshipments ook variëren. Het eerste type is proactieve transshipments waarbij transshipments worden uitgevoerd op een vooraf bepaald tijdstip voordat de vraag bekend is. Deze laterale transshipments worden toegepast zodat voorraad opnieuw kan verdeeld worden over alle voorraadpunten van een echelon. Het tweede type is reactieve transshipments waarbij transshipments ieder moment kunnen plaatsvinden als reactie op een tekort of op het risico van een tekort. Deze transshipments worden niet uitgevoerd op een vooraf bepaald tijdstip. Hierbij kan een depot dat kampt met tekorten of een hoog risico heeft op tekorten, bevoorrad worden door een bevoorradingspunt met voldoende inventaris (Paterson et al., 2011). Glazebrook et al. (2015) identificeert nog een derde type, namelijk hybride transshipments wat een mix is tussen proactieve transshipments en reactieve

transshipments. Hierbij worden economies of scale toegepast om ogenblikkelijke tekorten en toekomstige tekorten gelijktijdig aan te pakken.

Bovenvermelde types van transshipments kunnen op verschillende manieren gepooled worden. Een eerste manier is het gebruik maken van complete pooling. Hierbij zijn alle depots van een logistiek systeem bereid om hun gehele inventaris vrij te maken en uit te wisselen met andere depots via transshipments. Een tweede manier om te poolen die kan worden toegepast is partiële pooling. In tegenstelling tot complete pooling, zijn bij partiële pooling alle depots van een logistiek systeem bereid om enkel een deel van hun inventaris vrij te maken om uit te wisselen met andere depots via transshipments. Hierdoor geven de depots niet hun gehele inventaris weg.

De keuze van distributie van voorraad tussen distributiecentra kan verschillen binnen ieder logistiek systeem. Zo kan de keuze van transshipments gecentraliseerd gemaakt worden. Hierbij is een centrale keuzemaker aanwezig die de keuzes maakt van transshipments over het gehele logistiek systeem. Hiernaast kan de keuze van transshipments gedecentraliseerd gemaakt worden. Hierbij gaat ieder distributiecentrum zelf bepalen welk soort transshipment zij gaan uitvoeren en kan een systeem uiterst dynamisch worden.

Een laatste hoofdkarakteristiek wat effect kan hebben op een logistiek systeem is de kostenstructuur van een transshipment. In eerste instantie kan de transshipment kost gebaseerd zijn op een kost die per item wordt doorgevoerd. In tweede instantie kan de transshipment kost gedefinieerd worden als een vaste kost die ontstaat per shipment. In derde instantie kan de transshipment kost een mix zijn van een vaste kost per shipment en daarenboven nog een variabele kost die afhankelijk is van het aantal items die verzonden worden aan de hand van een transshipment. In vierde instantie kan er zelfs geen kost worden doorgevoerd bij het uitvoeren van een transshipment.

Het valt op dat er een grote verscheidenheid is aan karakteristieken binnen de literatuur omtrent laterale transshipments. Binnen deze masterproef wordt gefocust op de tak van reactieve laterale transshipments waarbij een gecentraliseerd, één echelon systeem wordt toegepast met periodische voorraadaanvulling. Er wordt voor reactieve laterale transshipments gekozen vanwege enkele redenen. In eerste instantie zijn reactieve laterale transshipments volgens Zhang et al. (2018) interessant om te implementeren binnen een e-commerce context vanwege de mogelijkheden om product beschikbaarheid te verbeteren en om order split te reduceren. Hiernaast vermelden ze dat modellen binnen de literatuur van laterale transshipments zich voornamelijk focussen op reactieve transshipments in plaats van proactieve transshipments. In tweede instantie worden reactieve laterale transshipments omschreven als een tactiek die fulfilment kost kan doen verminderen (Ge et al., 2019). Tot slot wordt een model met reactieve laterale transshipments waarbij een gecentraliseerd, één echelon systeem wordt toegepast met periodische voorraadaanvullingen toegepast binnen deze masterproef en is het model makkelijker om te modeleren.

Krishnan en Rao (1965) waren de eerste om reactieve laterale transshipments te onderzoeken. Zij baseerden hun onderzoek op het werk van Gross (1963) die gebruik maakte van een periodisch lateraal transshipment model met verwaarloosbare transshipmenttijden. Weinig is bekend over deze papers aangezien ze vrij oud zijn. De enige gegevens die genoteerd kunnen worden over de paper van Krishnan en Rao is hetgeen wat omschreven werd binnen de literatuurstudie van Paterson et al. (2011). Zo is bekend dat Krishnan & Rao onderzoek deden naar reactieve laterale transshipments met partiële pooling van goederen. Het logistiek systeem waar zij gebruik van maakten was een systeem met één type item, één echelon en twee depots die eenzelfde koststructuur hadden. Hiernaast werd gebruik gemaakt van backorders zodat klanten, die niet werden voldaan, toch voldaan worden op een ander moment. Wat betreft de generatie van vraag is geen kennis te vinden. Het onderzoek dat werd gestart door Krishnan en Rao werd verder uitgebreid door Karmarkar and Patel (1977) die een één periode, general network distribution problem met lineaire kosten onderzochten. Binnen het transportnetwerk dat wordt toegepast in hun onderzoek wordt gebruik gemaakt van transshipments. Zo bekomen zij aan de hand van simpele modellen enkele optimale beleidsbeslissingen. Enkele jaren later publiceerde Karmarkar een nieuwe paper om te achterhalen wat het beste order beleid kan zijn voor een inventarisprobleem met transshipments (Karmarkar, 1979). Binnen zijn onderzoek bestudeert hij een convex/stochastisch programming probleem. Zo wordt gebruik gemaakt van een kwantitatieve analyse om een optimaal order beleid te bekomen. Uit de analyse blijkt dat een optimaal order beleid een bepaalde geometrische vorm volgt. De conclusies van Karmarkar zijn eerdere werken werden tevens bevestigd in later onderzoek binnen een multi-periode multi-locatie inventaris probleem (Karmarkar, 1981). Zo volgt iedere periode binnen het multi-periode probleem dezelfde generieke vorm als in een één periode setup. Voornamelijk de structuur van de optimale beleidsvoering kan gekarakteriseerd worden.

Robinson (1990) vult de literatuur van Karmarkar verder aan over reactieve lateral transshipments. Zo onderzocht hij een optimale oplossing voor het order beleid van een multi-location, multi-period stochastic inventory model. Echter kan deze optimale oplossing enkel berekend worden voor netwerken die twee verschillende locaties hebben of die meerdere identieke locaties hebben. De optimale oplossing wordt berekend aan de hand van een heuristiek die gebaseerd is op lineair programmeren (LP).

Tagaras (1989) zette het onderzoek van reactieve laterale transshipments voort. Binnen zijn onderzoek wordt een inventaris distributiesysteem met twee locaties, verwaarloosbare lead times en transshipment times en een willekeurige vraag onderzocht. Hij concludeert dat, onder bepaalde voorwaarden, een beleid van complete pooling tussen de depots ervoor kan zorgen de logistieke kosten van het systeem geminimaliseerd kunnen worden. Hierbij wordt een oplossingsmethode toegepast om order-up-to levels te bekomen. Deze order-up-to levels kunnen vervolgens worden toegepast om de logistieke kosten te minimaliseren. Verder toont zijn onderzoek aan dat de servicelevels op beide locaties verbeterd worden indien transshipments worden toegepast. Tagaras breidt zijn literatuur uit door verder onderzoek te doen naar positieve replenishment lead times (Tagaras & Cohen, 1992). Naast het implementeren van niet-verwaarloosbare lead times overwegen hij en Cohen partiële en complete pooling terwijl stockage beslissingen worden gemaakt aan de hand van een heuristiek. Uit dit onderzoek blijkt dat het gebruiken

van partiële pooling inferieur is ten opzichte van complete pooling. Deze bevindingen zijn tegenstrijdig met de bevindingen van Herer and Rashit (1999). Herrer en Rashit onderzochten een twee-locatie inventarissysteem met vaste replenishment kosten en joint replenishment kosten. Hierbij wordt een één periode planning horizon geanalyseerd. Dit onderzoek kwam tot de conclusie dat partiële pooling beter kan presteren dan complete pooling. Tagaras (1999) beslist om enkele jaren later onderzoek te doen naar een netwerk met drie locaties en stelt een heuristiek samen die order-up-to levels kan bepalen. Hiernaast komt hij tot de conclusie dat de voordelen van pooling groter zijn als er meer depots zijn in het netwerk.

Een recenter en gelijkaardig onderzoek als dat van Robinson (1990), is het onderzoek van Herer et al. (2006). Zij onderzoeken een systeem met meerdere verschillende detailhandelaren en één aanbieder om de detailhandelaren te voorzien van voorraad. Hiernaast maken zij gebruik een LP framework dat in tandem werkt met een network flow framework. Op basis daarvan worden order-up-to levels bepaald. Özdemir et al. (2006) gaan nog een stap verder en onderzoeken de impact van capaciteitsbeperkingen op het transportatienetwerk. Hierbij modelleren ze verschillende gevallen van transshipment capaciteiten als een capacitated network flow probleem ingebed in een stochastic optimization probleem. Onder de assumptie waarbij transshipments onmiddellijk uitvoerbaar zijn, ontwikkelen ze een oplossingsprocedure die gebaseerd is op infinitesimal perturbation analysis. Aan de hand daarvan bekomen ze order-up-to levels die de totale kosten minimaliseren. Uit hun onderzoek hebben ze kunnen concluderen dat capaciteitsbeperkingen de verdeling van de inventaris over het gehele systeem wijzigen en de totale kosten doen stijgen.

Ramakrishna et al. (2015) onderzoekt een model met twee items, twee warenhuizen en een periodiek review model met partiële pooling. Zij gebruiken een zoekprocedure op basis van heuristieken en een Lagrangian relaxatie methode. Aan de hand van deze procedure minimaliseren ze de totale operating kost van het systeem. Door numerieke experimenten uit te voeren bevestigt Ramakrishna et al. dat het bekomen van optimale order-up-to levels mogelijk is aan de hand van hun zoekprocedure.

Al deze bovenstaande bronnen zijn geschreven in de context van een normaal retail systeem waarbij goederen worden geleverd om de inventaris van retailers aan te vullen zodat zij een vraag kunnen voldoen. Dit wil zeggen dat ze de context van een systeem dat e-commerce toepast niet onderzoeken. Een uitzondering op deze regel is het onderzoek van Torabi et al. (2015). Zij passen reactieve transshipments toe binnen een mixed integer linear programming model. Dit model zorgt ervoor dat de juiste keuzes worden gemaakt zodat e-tailers hun klantenvraag optimaal kunnen voldoen en de logistieke kosten minimaliseren. Om optimale oplossingen te bekomen passen ze een Benders decompositie gebaseerde methode toe.

2.2 MULTI DEPOT VEHICLE ROUTING PROBLEM

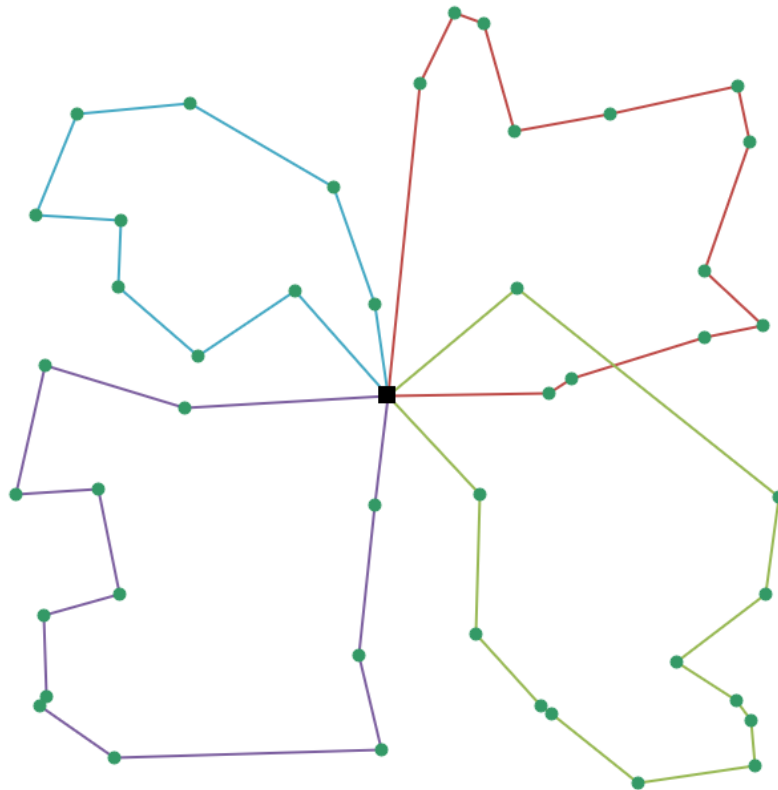
Net zoals het managen van inventarissen binnen meerdere distributiecentra aan de hand van pooling, is het beleveringsproces van producten aan klanten vanuit distributiecentra ook belangrijk. Deze flow van producten naar klanten wordt geïdentificeerd als het vehicle routing probleem (VRP). Dit probleem werd als eerste voorgesteld door Dantzig and Ramser (1959). Sindsdien zijn er verschillende variaties ontstaan die gebaseerd zijn op het VRP. In tabel 2 kan een overzicht worden teruggevonden met enkele verschillende variaties die ontstaan zijn uit het originele VRP (Montoya-Torres et al., 2015).

Variaties VRP

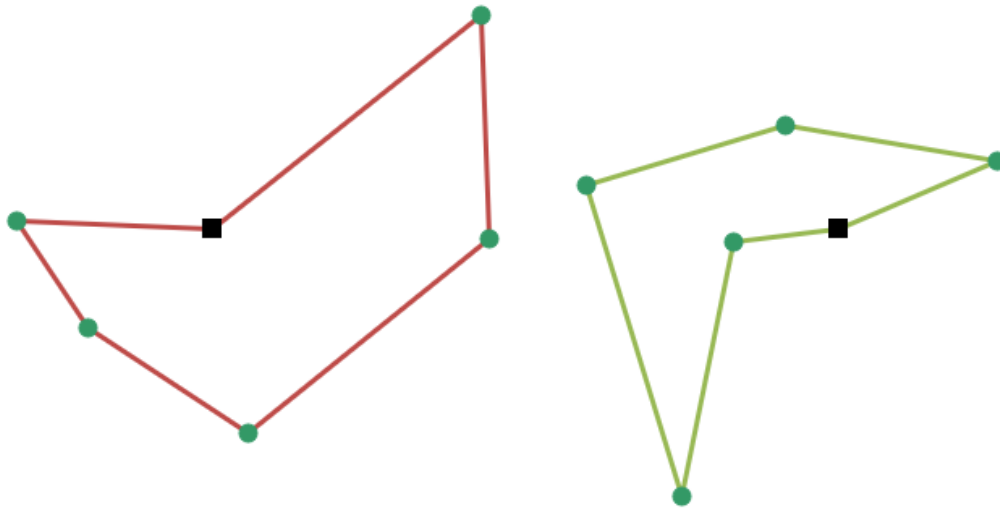
<i>PVRP (Periodic VRP)</i>	Een VRP waarbij een planningsperiode van meerdere dagen in acht wordt genomen en klanten meer dan eens bezocht moeten worden (Hemmelmayr et al., 2009).
<i>MDVRP (Multi Depot VRP)</i>	Een VRP waarbij meer dan één depot in acht wordt genomen.
<i>DVRP (Dynamic VRP)</i>	Een VRP waarbij nieuwe klantenorders worden toegevoegd terwijl het werkende dagplan lopende is. Dit wil zeggen dat routes dynamisch moeten gereconstrueerd worden tijdens het uitvoeren van de huidige VRP-simulatie (Khouadjia et al., 2013).
<i>VRPTW (VRP met Time Windows)</i>	Een VRP waarbij toegestane levertijden of time windows worden toegevoegd (Desrochers et al., 1992).
<i>VRPPD (VRP met Pickup & Delivery)</i>	Een VRP waarbij pick-ups en leveringen samen worden toegepast.
<i>VRPB (VRP met Backhaul)</i>	Een VRP waarbij leveringen en pick-ups worden uitgevoerd maar eerst worden de klanten beleverd en vervolgens worden de pick-ups uitgevoerd (Goetschalckx & Jacobs-Blecha, 1989).
<i>VRPSPD (VRP met Simultaneous Pickup & Delivery)</i>	Een VRP waarbij klanten beleverd worden en simultaan goederen gepickt worden bij de klanten (Ai & Kachitvichyanukul, 2009).

Tabel 2: Verschillende varianten van het VRP

Een variant die ontstaan is uit het originele VRP is het Multi Depot Vehicle Routing Probleem (MDVRP). Deze variant is een VRP waarbij meer dan één depot in acht wordt genomen. Volgens Renaud et al. (1996) kan het MDVRP op volgende manier omschreven worden. Laat $G = (V, E)$ een graph voorstellen, waar V een set van nodes en E een set van arcs of edges is die ieder paar van nodes connecteert. De set V kan verder worden opgesplitst in 2 subsets: $V_c = \{v_1, v_2, \dots, v_N\}$ wat een set van onlineklanten voorstelt die moeten beleverd worden; en $V_d = \{v_{N+1}, v_{N+2}, \dots, v_M\}$ wat een set van depots voorstelt. Iedere klant $v_i \in V_c$ heeft een non-negatieve vraag d_i en zal beleverd worden door één van de meerdere depots. Iedere arc die deel uitmaakt van de set E bevat een bepaalde kost, afstand of reistijd c_{ij} (binnen deze proef zal er gefocust worden op transportkost en afstand). Er zijn een totaal van K voertuigen die ieder een capaciteit van P_k bevatten. Een MDVRP is opgesteld zodat: (1) elke voertuigroute begint en eindigt in hetzelfde depot, (2) elke klant precies één keer door een voertuig wordt bediend, (3) de totale vraag van elke route de voertuigcapaciteit niet overschrijdt en (4) de routing kosten tot een minimum worden beperkt.



Figuur 1: één depot VRP probleem grafisch weergegeven aan de hand van de spreadsheetsolver van Erdođan (2017)



Figuur 2: een MDVRP grafisch weergegeven aan de hand van de spreadsheetsolver van Erdoğan (2017)

In bovenstaande figuren worden zowel een één depot VRP als een MDVRP voorgesteld waarbij de zwarte vierkanten de depots voorstellen, de punten de klanten voorstellen en de gekleurde lijnen de routes van de verschillende voertuigen weergeeft.

Deze MDVRP's kunnen opgesteld worden om één doel te optimaliseren waaronder de transportkosten, reistijden, afstanden etc. Hiernaast kunnen MDVRP's worden opgesteld om meerdere doelen simultaan te optimaliseren. Een voorbeeld hiervan is het simultaan minimaliseren van afstand en aantal voertuigen. Soms kan het voorvallen dat doelen die geoptimaliseerd moeten worden tegenstrijdig zijn. Bijvoorbeeld het minimaliseren van het aantal voertuigen en simultaan het service level maximaliseren (Montoya-Torres et al., 2015).

Het aantal papers die oplossingsmethodes toepast om meerdere doelen simultaan te optimaliseren is schaars binnen de literatuur. Zo wordt binnen de literatuur van MDVRP gefocust op oplossingsmethodes die één doel trachten te optimaliseren. Om één doel te optimaliseren, kunnen drie oplossingsmethodes worden onderscheiden. In eerste instantie kunnen exacte methodes gebruikt worden om één optimale uitkomst te bekomen. Deze methodes proberen aan de hand van uitgebreide programeer-technieken een optimale uitkomst te bemachtigen. Een tweede oplossingsmethode die kan worden toegepast is het

gebruik van heuristieken. Hierbij kan gebruik worden gemaakt van enkele algoritmes of andere rekenmethodes zodat snel een haalbare oplossing kan bekomen worden. Deze oplossing is niet noodzakelijk optimaal of exact. In derde instantie kunnen meta-heuristieken worden toegepast om een oplossing te bekomen voor een MDVRP. Deze zijn gelijkend op heuristieken maar passen technieken toe om uit lokale optima te ontsnappen (Montoya-Torres et al., 2015).

De mensen die pionierswerk verricht hebben op het gebied van multi depot vehicle routing problemen waren Kulkarni and Bhave (1985), Laporte et al. (1988) en Carpaneto et al. (1989). Sindsdien zijn er verscheidene papers gepubliceerd die onderzoek hebben uitgevoerd binnen de context van MDVRP. Montoya-Torres et al. (2015) publiceerden een uitgebreide literatuurstudie over het MDVRP. Hierbinnen bespreken zij een totaal van 173 publicaties die betrekking hebben op het multi depot vehicle routing probleem. Na hun publicatie is verder onderzoek uitgevoerd naar het multi depot vehicle routing probleem, dat zowel binnen een context waarbij e-commerce niet centraal staat als binnen een context waarbij e-commerce wel centraal staat.

Binnen de context waarbij e-commerce niet centraal staat is een grote verscheidenheid aan onderzoek uitgevoerd. Om enkele voorbeelden te geven, worden twee papers aangehaald. De eerste paper is het onderzoek van Chen et al. (2020). Zij onderzoeken een multi depot vehicle routing probleem met time windows met als doel om transportkosten te minimaliseren. Deze transportkosten omvat de vehicle fixed cost, de transportation cost en de time penalty cost. Om deze kosten te minimaliseren, passen ze een tweefasig algoritme toe. In de eerste fase wordt een exact algoritme toegepast om klantenorders te verdelen over de verschillende depots. In de tweede fase worden alle routes berekend aan de hand van een verbeterd genetisch algoritme. De tweede paper is een publicatie van Zhang et al. (2022). Binnen deze publicatie wordt een heterogeen multi depot collaboratief vehicle routing probleem onderzocht. Een grote uitdaging binnen dit onderzoek is het realiseren van de collaboratieve rittenplanning. Om een goede realisatie van de collaboratieve rittenplanning te maken, moet de juiste keuze worden gemaakt van transferpunten waar transshipments kunnen worden uitgevoerd van producten tussen voertuigen van verschillende depots. Om een oplossing te bekomen voor het probleem wordt gebruik gemaakt van een Benders gebaseerde branch-and-cut algoritme. Naast deze twee papers bestaan verscheidene andere publicaties over het MDVRP. Aangezien deze masterproef zich focust op een e-commerce context, worden papers binnen de e-commerce context uitbundiger besproken.

Door de toename aan e-commerce is het onderzoek naar multi-depot vehicle routing problemen toegenomen binnen de e-commerce context. Zhou et al. (2018) onderzochten een multi-depot, twee echelon vehicle routing probleem. Dit wil zeggen dat eerst een design van routes moet gemaakt worden voor een voertuigenvloot van depots naar enkele satelliet locaties en vervolgens wordt een design van routes gemaakt voor een voertuigenvloot van satelliet locaties naar klanten. Hiernaast krijgen klanten beleveringsopties, wat hun de optie geeft om producten op te halen op pick-up locaties. Het doel van deze paper is het minimaliseren van de totale distributiekost. Deze minimalisatie wordt uitgevoerd aan de hand van een hybride multi-population genetisch algoritme. In hetzelfde jaar werd de paper van Reyes-Rubiano et al. (2018) gepubliceerd. Deze paper focust zich op de e-commerce context binnen de

stadslogistiek. Zij passen een meta-heuristische benadering toe voor het aanpakken van een verrijkt multi-depot vehicle routing probleem waarin economische, milieu en sociale dimensies worden onderzocht. Hierbij worden biased-randomized strategieën geïntegreerd binnen een variabel neighborhood search framework.

Kancharla and Ramadurai (2019) doen verder onderzoek naar het multi depot vehicle routing probleem met twee echelons. Zij formuleren een twee echelons routing probleem met meerdere depots en een heterogene vloot. Hierbinnen zoeken ze naar een optimale oplossing binnen een mixed integer lineair programmeer probleem door de load afhankelijke brandstof te minimaliseren binnen de doelfunctie. Wang et al. (2021) trachten een collaboratief multi depot pickup en delivery vehicle routing probleem met split loads en time windows te optimaliseren. Dat gebeurt door in eerste instantie een customer demand splitting strategie toe te passen en in tweede instantie een multi depot pickup en delivery vehicle routing probleem met time window beperkingen op te lossen. Om de eerste stap uit te voeren ontwikkelen ze een clustering algoritme met split load strategieën om iedere klant van het logistiek systeem toe te wijzen aan hun meest voordelige serviceprovider, rekening houdend met meerdere customer service characteristics. Om de tweede stap uit te voeren wordt een hybride genetisch algoritme met tabu search ontwikkeld. Hierdoor worden de pickup en beleveringroutes geoptimaliseerd en wordt het gebruik van de logistieke middelen gemaximaliseerd. Een van de meest recentste papers over MDVRP binnen de e-commerce context is de publicatie van Zhen et al. (2022). Zij onderzoeken een probleem dat zich focust op het plannen van heterogene delivery tasks binnen een mixed logistics platform met meerdere depots en twee type voertuigen (dedicated voertuigen en occasionele voertuigen). Om dit probleem op te lossen worden mixed integer programming modellen opgesteld en column generation gebaseerde oplossingsmethodes toegepast.

2.3 INTEGRATIE INVENTARIS MANAGEMENT & MULTI DEPOT VEHICLE ROUTING PROBLEMEN

Aangezien het inventaris management en het beleveringsproces belangrijke factoren zijn voor detailhandelaren, is het belangrijk dat beide concepten samen moeten worden onderzocht. Echter wordt binnen de literatuur weinig belang gehecht aan het samen onderzoeken van inventaris management en MDVRP. Volgens een recente paper zijn de routeplanningsproblemen die vermeld worden in tabel 3 de voornaamste binnen de e-commerce context (Zennaro et al., 2022).

Variaties VRP binnen de e-commerce literatuur

<i>TSMP</i>	Time Slot Management Probleem
<i>LS-MPT-HFFVRSPTW</i>	Load Specific van Multiple Products Types binnen een Heterogeneous Fixed Fleet Vehicle Routing en Scheduling Probleem met Time Windows
<i>DVRP</i>	Dynamic Vehicle Routing Probleem
<i>DVRSP</i>	Dynamic Vehicle Routing en Scheduling Probleem
<i>VRPMTW</i>	Vehicle Routing Probleem met Multiple Trips en Time Windows
<i>CVRPOAT</i>	Capacitated Vehicle Routing Probleem met Order Available Time
<i>VRPTW en Pallet Loading Constraints</i>	Vehicle Routing Probleem met Time Windows en Pallet Loading Constraints
<i>OCVRP</i>	Vehicle Routing Probleem in Omni Channel
<i>I-OP-DPMC</i>	Integrated Order Picking en delivery Probleem met Multiple Delivery Zones en Vehicle Capacity
<i>I-OP-VRP</i>	Integrated Order Picking Vehicle Routing Probleem
<i>CLS-STW</i>	City Logistics Sync met Sliding Time Window
<i>PDPTW</i>	Pickup en Delivery Problem met Time Windows
<i>MVRPSPDTW</i>	Vehicle Routing Probleem met Simultaneous Pickup en Delivery met Time Windows vanuit Multiple Depots
<i>RECL</i>	Rural E-Commerce Logistics Probleem

Tabel 3: Variaties VRP binnen de e-commerce literatuur

Uit deze tabel valt op dat het MDVRP niet behoort tot één van de voornaamste vehicle routing problemen binnen de e-commerce context. Tabel drie verwijst wel één keer naar meerdere depots, namelijk het vehicle routing probleem met simultaneous pickup en delivery met time windows vanuit multiple depots (MVRPSPDTW). Dit is een vorm van het VRP waarbij voertuigen simultaan klanten gaan beleveren en goederen gaan oppikken vanuit verschillende depots met time windows. Dit zijn slechts de bevindingen van één bron die werd gepubliceerd in een obscuur tijdschrift.

Een van de weinige papers die onderzoek doet naar de combinatie van inventaris management en MDVRP is de thesis van Vries (2014). Zij bestudeert in haar thesis een dynamisch distributiesysteem voor thuisleveringen van online bestellingen. Om dit systeem te onderzoeken maakt ze gebruik van een MDVRP met mogelijkheden om split deliveries uit te voeren tussen depots en past ze inventarisbeperkingen toe. Om het logistiek systeem te optimaliseren wordt gebruik gemaakt van een hybride genetisch algoritme en een search heuristic gebaseerd op het imiteren van het evolutionaire systeem met gevorderd diversiteitsmanagement. Uit haar onderzoek kan geconcludeerd worden dat haar optimalisatiemethode in het algemeen een goede methode is om MDVRP's op te lossen die

inventarisbeperkingen bevatten. Een tweede onderzoek dat dieper ingaat op de verticale integratie van inventaris management en MDVRP is de doctoraatsstudie van Arnold (2018). Hij omschrijft in hoofdstuk zes van zijn doctoraatsstudie de verticale integratie tussen rittenplanning en inventarismanagement. Om de interactie tussen rittenplanning en inventarismanagement te onderzoeken stelt hij drie modellen op. Het eerste model is een rittenplanningsmodel met meerdere depots die hun eigen klanten beleveren. Het tweede model is een rittenplanningsmodel met meerdere depots die hun eigen klanten beleveren en waarbij reactieve laterale transshipments worden toegepast. Het derde model is een rittenplanningsmodel met meerdere depots die hun eigen klanten beleveren en eventueel de klanten van andere depots als er onvoldoende inventaris is binnen de andere depots. Florian Arnold maakt gebruik van een Periodische (S-1, S) ordering structuur. Wat betreft de opzet van zijn systeem maakt hij gebruik van één echelon en een single-item perspectief. Hiernaast gaat hij uit van lost sales, verwaarloosbare lead times en maakt hij zowel gebruik van twee en drie depots binnen zijn onderzoek. Hij komt tot de conclusie dat het poolen van inventaris aan de hand van laterale transshipments resulteert in een significante vermindering van de voorraadkosten maar dit zorgt voor een marginale stijging in de routing kost. Deze effecten zullen vergroten als er meer depots samenwerken. Als de distributie gepooled wordt, dan kunnen de voorraadkosten en de transportkosten samen verminderd worden. Hiernaast heeft hij ondervonden dat het poolen van distributie meer kosteffectief is dan het poolen van inventaris aan de hand van laterale transshipments, dit onafhankelijk van de relatieve afstand tussen de depots en de graad van voorraadtekorten. Verder heeft de variantie van de vraag een impact op de effectiviteit van de pooling. Een hogere variantie in vraag komt overeen met hogere routing effort om op een effectieve manier de voorraadniveaus te balanceren. Dit wil zeggen dat pooling meer kosteffectief is in een logistiek systeem met een lage variantie van de vraag. Tot slot heeft hij ondervonden dat centraal gelegen depots en depots met een hogere variantie in vraag over hogere order-up-to levels moeten beschikken om effectiever te zijn.

De context van het MDVRP, rekening houdend met inventaris beperkingen van de depots, wordt verder onderzocht door (Bouanane et al., 2018). Hierin onderzoekt ze een multi depot vehicle routing probleem met simultane belevering en pickup en inventarisbeperkingen. Dit probleem tracht ze op te lossen door gebruik te maken van twee hybride genetische algoritmes. Het eerste algoritme wordt toegepast om willekeurige beginoplossingen te genereren. Het tweede algoritme incorporeert de Petal heuristiek en de nearest neighbor heuristiek. Deze algoritmes worden toegepast om een oplossing te bekomen die de kosten minimaliseert, rekening houdend met de afgelegde afstand, het aantal voertuigen en de capaciteit van de voertuigen en de depots. Dit onderzoek werd verder uitgebreid in andere publicatie (Khaoula et al., 2019). Hierbinnen wordt ook een multi depot vehicle routing probleem met simultane belevering en pickup en inventarisbeperkingen onderzocht. Echter wordt nu een hybride genetisch algoritme voorgesteld die drie procedures uitvoert. De eerste procedure bevat de K-nearest depot heuristiek die wordt toegepast om klanten toe te wijzen aan depots. De tweede procedure beschikt over het Sweep algoritme om routes te bepalen. De derde procedure omvat de farthest insertion heuristiek die de bekomen uitkomsten gaat verbeteren. Beide papers zijn niet peer-reviewed, wat de validiteit van hun onderzoek in vraag stelt.

Een meer recente publicatie werd onderzocht door Moonsri et al. (2021). Zij focussen zich op de distributie van eieren. Dit wordt gedaan door onderzoek uit te voeren naar een model voor een multi product, multi depot vehicle routing probleem met time windows, heterogene vloot en inventarisbeperkingen. Binnen dit model hebben ze het doel om de totale kosten te minimaliseren. Deze publicatie omvat een mixed integer lineair programmeer model, een initial solution-based constructive heuristiek, een nieuw self-adaptive mutation strategie en een neighborhood search structure met de mogelijkheid om het model te verbeteren.

Vanwege het gebrek aan literatuur hieromtrent en het vinden van slechts enkele publicaties, kan verondersteld worden dat het topic van inventarismanagement geïntegreerd met MDVRP nog verder onderzocht moet worden binnen de literatuur.

3 OPZET EMPIRISCH ONDERZOEK

Het doel van het empirisch onderzoek is achterhalen wat het effect is van geoptimaliseerde voorraadniveaus op de verschillende voorraadkosten (shortage en holding kosten) en wat het effect is van laterale transshipments en distribution sharing op de voorraadkosten, transportkosten en e-fulfilment kosten (de som van voorraadkosten en transportkosten) van een detailhandelaar met meerdere depots. Om de kosten te analyseren worden drie symmetrische logistieke systemen opgesteld. Deze systemen zijn het systeem zonder pooling, het pooling systeem aan de hand van laterale transshipments en het pooling systeem aan de hand van distribution sharing. Binnen ieder systeem wordt een model met twee depots en een model met drie depots onderzocht en voor ieder model worden een hoge en lage shortage kosten per eenheid afgetoetst. Binnen deze masterproef wordt tweemaal verschillende synthetische data gegenereerd. Voor de eerste instantie wordt synthetische data gegenereerd om order-up-to levels te bepalen. Voor de tweede instantie wordt synthetische data gegenereerd die als input wordt gebruikt voor de modellen. De kosten die geanalyseerd worden binnen deze masterproef ontstaan door de tweede instantie van synthetisch gegenereerde data toe te passen op de verschillende logistieke systemen die gebruik maken van de eerder gevonden order-up-to levels.

Na het opstellen van de systemen en het genereren van de eerste instantie data, worden de order-up-to levels bepaald van de depots. Deze order-up-to levels worden bepaald door Solver binnen Microsoft Excel toe te passen op de eerste instantie gegenereerde data. De order-up-to levels zullen dienen als de voorraadniveaus van de distributiecentra over 100 periodes binnen de tweede instantie van synthetisch gegenereerde data.

Vervolgens worden de order-up-to levels toegepast op de tweede instantie synthetisch gegenereerde data. Naast het toepassen van de order-up-to levels op deze data, worden enkele algoritmes geïmplementeerd die geprogrammeerd zijn binnen Python. De gebruikte algoritmes worden weergegeven in tabel 4.

Systemen	Algoritmes
Systeem zonder pooling	Toewijzingsalgoritme1 en Rittenplanningsalgoritme
Pooling aan de hand van Transshipments	Toewijzingsalgoritme1, Transshipmentalgoritme en Rittenplanningsalgoritme
Pooling aan de hand van Distribution Sharing	Toewijzingsalgoritme2 en Rittenplanningsalgoritme

Tabel 4: Systemen en hun algoritmes

Het eerste algoritme dat wordt toegepast is toewijzingsalgoritme1. Dit algoritme analyseert of ieder distributiecentrum voldoende voorraad heeft om zijn klanten te voldoen en verwijdert klanten die het verste verwijderd zijn van het desbetreffende depot als de voorraad niet groot genoeg is. Verder berekent het algoritme de shortage kost en de holdingkost van ieder distributiecentrum.

Het tweede algoritme dat wordt toegepast is het rittenplanningsalgoritme. Dit algoritme is gebaseerd op een capacitated vehicle routing probleem en berekend voor ieder depot apart binnen iedere periode de rittenplanning en de transportkosten. Dit algoritme is samengesteld aan de hand van Gurobi/Gurobipy software binnen Python. Deze twee algoritmes worden uitgebreid uitgelegd binnen sectie 3.2.2 en sectie 3.2.3.

Het derde algoritme dat wordt toegepast binnen deze masterproef is het transshipmentalgoritme. Het transshipmentalgoritme maakt gebruik van de output van toewijzingsalgoritme1 en berekent op basis daarvan het aantal transshipments die moeten worden uitgevoerd tussen de verschillende distributiecentra en het berekent de nieuwe voorraadniveaus van ieder distributiecentrum nadat de transshipments zijn uitgevoerd. Hierdoor worden de transshipmentkosten achterhaald en kan toewijzingsalgoritme1 opnieuw worden uitgevoerd aan de hand van de nieuwe voorraadniveaus van de distributiecentra. Het transshipmentalgoritme wordt verder toegelicht binnen sectie 3.3.3.

Het vierde algoritme dat wordt toegepast is toewijzingsalgoritme2. Dit algoritme neemt aan dat alle distributiecentra binnen een periode gaan samenwerken. Als tekorten ontstaan voor de distributiecentra binnen een periode, dan gaat het algoritme ervoor zorgen dat de klanten van het distributiecentrum met tekorten worden toegewezen aan de distributiecentra met overschotten. Deze toewijzing gebeurt op basis van de kortste afstand tussen de klanten en de distributiecentra met overschotten. Vervolgens worden de tekorten en overschotten aangepast van de betrokken distributiecentra. Dit algoritme wordt verder uitgelegd binnen sectie 3.4.2.

Eens de algoritmes zijn uitgevoerd en de kosten bekomen zijn, worden statistische testen uitgevoerd. Eerst worden de shortage kost en holding kost getest aan de hand van one-sample two-tailed t-testen. Dit wordt gedaan om te achterhalen of de geoptimaliseerde voorraadniveaus en de handelingen van de verschillende systemen ervoor zorgen dat de verschillende voorraadkosten worden vermeden en gelijk zijn aan 0. Als tweede worden alle kosten die de verschillende systemen ondervinden (voorraadkosten, transportkosten en e-fulfilment kosten) geanalyseerd aan de hand van gepaarde t-testen. Hierdoor worden alle systemen vergeleken met elkaar en kan achterhaald worden of de systemen significant verschillend zijn van elkaar. Hieruit kan binnen deze masterproef verwacht worden dat de gepoolde systemen een significant lagere kost zullen bevatten ten opzichte van het niet gepoolde systeem.

3.1 GENEREREN DATA & ASSUMPTIES

Binnen het empirische onderzoek wordt een logistiek systeem van een detailhandelaar verder onderzocht. Dit logistiek systeem bevat een centraal warehouse die goederen levert aan twee of drie distributiecentra/depots. Deze distributiecentra hebben een stochastische vraag van een verscheidenheid aan klanten die één type item kopen. Binnen het logistiek systeem wordt gekeken naar meerdere periodes, meer specifiek 100 periodes. De keuze om 100 periodes te genereren is gemaakt omdat 100 periodes een voldoende grootte is om het effect van de stochastische vraag uit te middelen. Het doel van het logistieke systeem is om de lange termijn kosten van het logistiek systeem te minimaliseren. Deze zullen geminimaliseerd worden door de voorraadkosten en de transportkosten te minimaliseren.

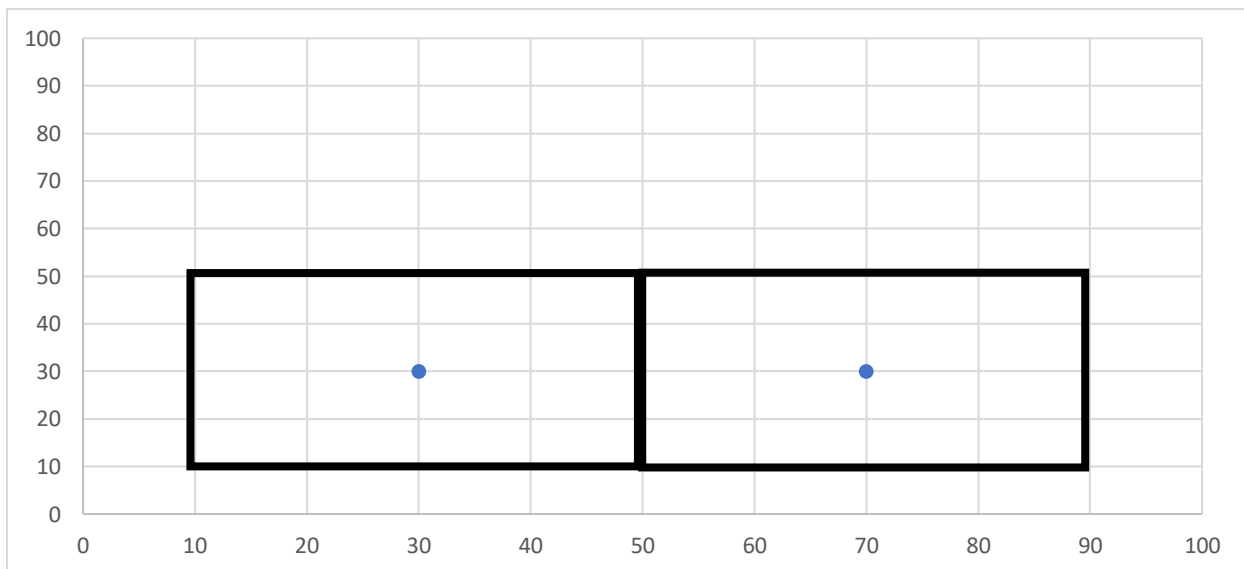
Het proces van het systeem start met het bevoorraden van de depots door het centrale warehouse. Hierdoor moet een keuze gemaakt worden over welke order policy wordt toegepast. De order policy die binnen deze masterproef wordt toegepast is het periodisch (S-1, S) model. Dit model wordt gekozen aangezien dit het meest frequent gebruikte model is binnen de literatuur van laterale transshipments (Paterson et al., 2011). Een andere reden waarom deze order policy wordt toegepast is om het logistiek systeem minder complex te maken. Door gebruik te maken van het periodisch (S-1, S) model wordt aan de start van iedere periode elk distributiecentrum bevoorrad tot aan een bepaald order-up-to level S_i . Het toegewezen order-up-to level S_i is de beperkte hoeveelheid inventaris waarover het toegewezen distributiecentrum beschikt om klanten te belevaren.

Aangezien een logistiek systeem wordt opgebouwd met twee of drie distributiecentra, moet bepaald worden waar de distributiecentra worden geplaatst. Deze distributiecentra krijgen een coördinaat toegewezen, gelegen in een cartesisch assenstelsel. In een logistiek systeem met twee distributiecentra wordt distributiecentrum één geplaatst op het punt (30;30) en distributiecentrum twee wordt geplaatst op het punt (70;30). Voor een logistiek systeem met drie distributiecentra wordt één opstellingen overwogen. Deze opstelling bedraagt een symmetrisch model waarbij ieder distributiecentrum zich even ver van elkaar bevindt. Hierbij wordt distributiecentrum één geplaatst op punt (30;30), distributiecentrum twee wordt geplaatst op punt (70;30) en distributiecentrum drie wordt geplaatst op punt (50;64,641).

De vraag voor goederen wordt binnen deze masterproef op een stochastische en artificieel gegenereerde manier bepaald. Zo wordt Python toegepast om de vraag te genereren. Eerst worden klanten voor ieder distributiecentrum gegenereerd aan de hand van een normaalverdeling. Deze normaalverdeling bevat een gemiddelde van $\mu = 50$ en een standaardafwijking van $\sigma = 10$. Dit wil zeggen dat ieder distributiecentrum een gemiddelde van 50 klanten bevat. In het geval dat een negatieve waarde wordt gegenereerd, dan wordt deze negatieve waarde vervangen door een nieuwe positieve waarde die wordt gegenereerd. Deze klanten krijgen ieder een willekeurige vraag toegewezen van $q_{ik} \in [1, 6]$. Dit wil zeggen dat iedere klant k van een distributiecentrum i een bepaalde hoeveelheid goederen kan vragen in iedere periode. Deze methode zorgt ervoor dat ieder distributiecentrum een gemiddelde hoeveelheid

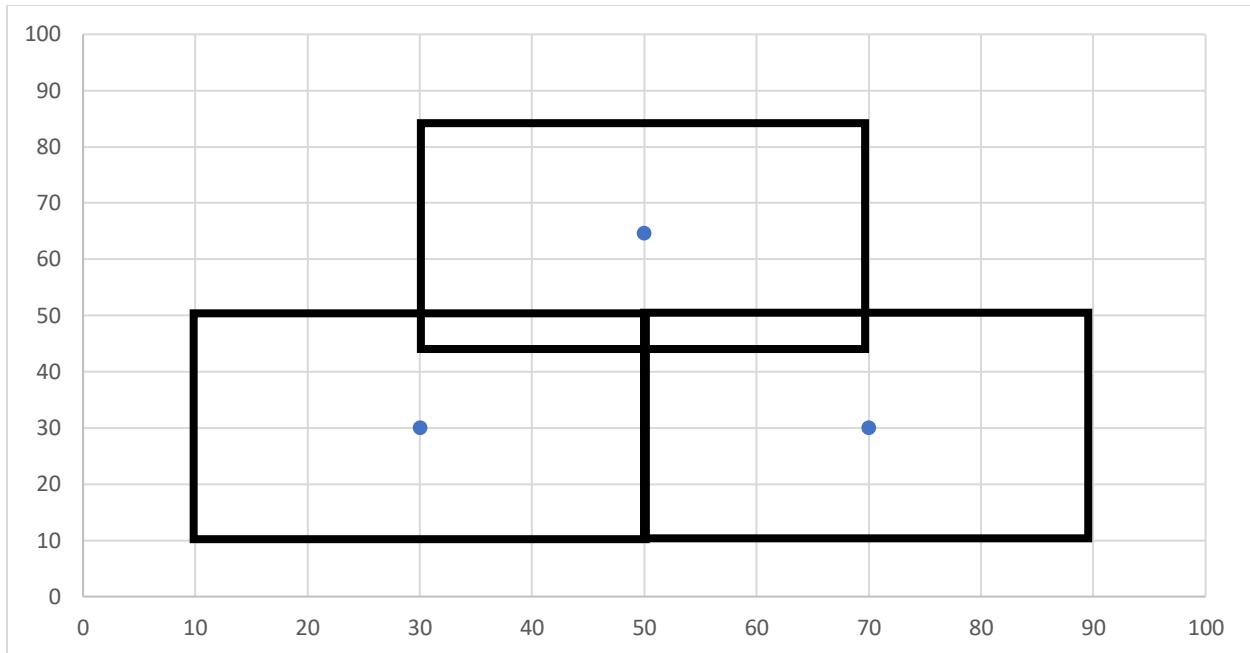
klanten met een willekeurige vraag krijgt toegewezen die zij moeten beleveren. Hiernaast is het aantal klanten en hun vraag stochastisch zodat het logistiek systeem realistischer is opgebouwd.

De generatie aan klanten wordt tweemaal uitgevoerd voor een totaal van 100 periodes waarbij iedere periode andere klanten bevat. Het wordt een eerste keer synthetisch gegenereerd om order-up-to levels te genereren en een tweede keer om de order-up-to levels op toe te passen zodat de verschillende voorraadkosten (holding en shortage kost) en transportkosten worden berekend die worden geanalyseerd. Verder krijgt iedere artificeel gegenereerde klant in de tweede instantie een willekeurig gegenereerde x – en y-coördinaat toegewezen rondom het toegewezen distributiecentrum binnen een bepaald interval. Dit interval wordt omschreven als het servicegebied van ieder distributiecentrum. Deze intervallen kunnen geraadpleegd worden in tabel 4. Voor de eerste opstelling, waarbij een logistiek model wordt voorgesteld met twee distributiecentra, worden de klanten van distributiecentrum één geplaatst binnen een interval van $x \in [10;50]$ en $y \in [10;50]$. De klanten van distributiecentrum twee worden geplaatst binnen een interval van $x \in [50;90]$ en $y \in [10;50]$. Binnen deze opstelling zal er geen overlap zijn tussen de servicegebieden van de twee distributiecentra. De opstelling wordt weergegeven in figuur 3.



Figuur 3: Grafische weergave service gebieden twee Distributiecentra

Voor de tweede opstelling, waarbij een symmetrisch logistiek model wordt voorgesteld met drie distributiecentra, worden de klanten van distributiecentrum één geplaatst binnen een interval van $x \in [10;50]$ en $y \in [10;50]$. De klanten van distributiecentrum twee worden geplaatst binnen een interval van $x \in [50;90]$ en $y \in [10;50]$. Hiernaast worden de klanten van distributiecentrum drie geplaatst binnen een interval van $x \in [30;70]$ en $y \in [44,641;84,641]$. Binnen deze opstelling zal een overlap ontstaan tussen de servicegebieden van de drie distributiecentra. De opstelling wordt weergegeven in figuur 4.



Figuur 4: Grafische weergave service gebieden drie distributiecentra

Op basis van deze plaatsingen worden onderlinge afstanden berekend tussen de klanten en de distributiecentra. De afstanden worden berekend via Python aan de hand van euclidische afstanden volgens volgende formule: $\sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2}$. Aangezien de masterproef zich focust op een e-commerce context, worden de x- en y-coördinaten van iedere klant gewijzigd in iedere periode. Kiezen om de coördinaten in iedere periode te wijzigen voor iedere klant zorgt ook voor een dynamischer logistiek systeem.

	Model 2 DC's		Model 3 DC's symmetrisch	
	X-interval klanten	Y-interval klanten	X-interval klanten	Y-interval klanten
DC 1	X ∈ [10;50]	Y ∈ [10;50]	X ∈ [10;50]	Y ∈ [10;50]
DC 2	X ∈ [50;90]	Y ∈ [10;50]	X ∈ [50;90]	Y ∈ [10;50]
DC 3	/	/	X ∈ [30;70]	Y ∈ [44,641;84,641]

Tabel 4: Intervallen klantgeneratie modellen

De opzet van de logistieke modellen focust zich op twee kosten. Deze kosten zijn de voorraadkosten en de transportkosten. De voorraadkosten zijn afhankelijk van het voorraadniveau van een distributiecentrum. Indien er een overschot aan goederen is dan wordt dit verrekend als een holding kost. Deze holding kost wordt berekend door de overschotten te vermenigvuldigen met de holding kost per eenheid. De holding kost per eenheid heeft altijd een waarde van één binnen deze masterproef. Indien er een tekort aan goederen is, dan wordt dit verrekend als een shortage kost aangezien een bepaalde vraag niet kan worden voldaan. De shortage kost wordt bekomen door het tekort aan goederen

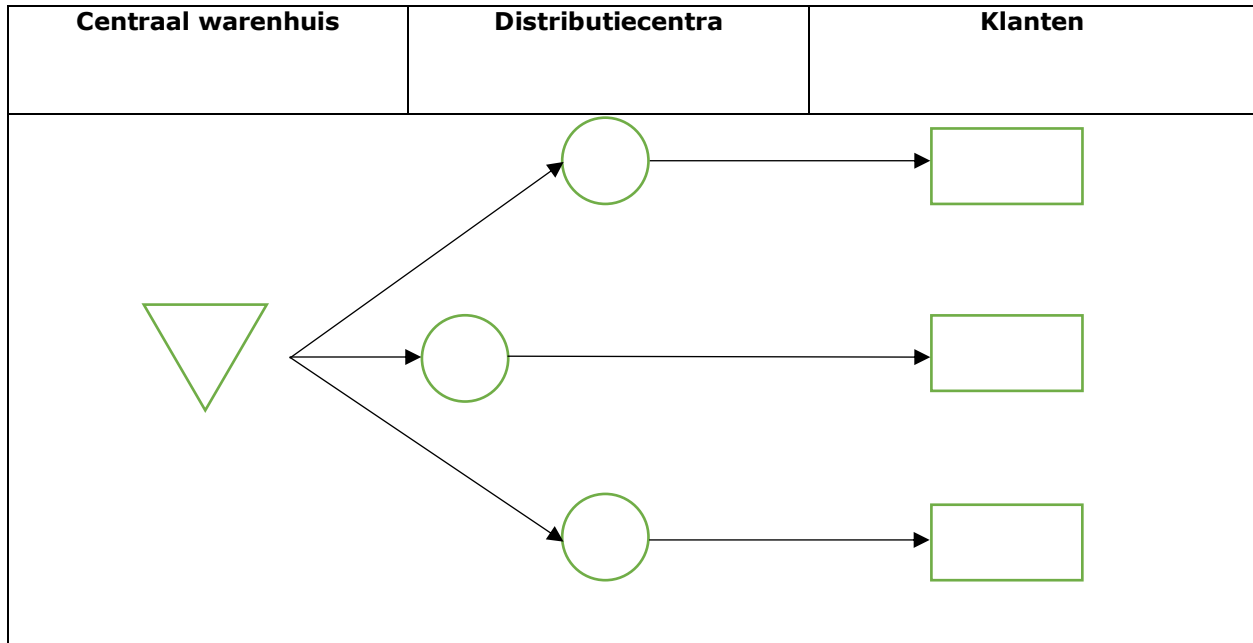
te vermenigvuldigen met de shortage kost per eenheid. Binnen deze masterproef wordt onderzoek gedaan naar de impact van een lage en een hoge shortage kost per eenheid. De lage shortage kost per eenheid bedraagt en de hoge shortage kost per eenheid bedraagt 12. Er kan worden verondersteld dat de voorraadkost gelijk is aan de som van de shortage kost en de holding kost. De transportkosten zijn afhankelijk van de afstand die wordt afgelegd om de goederen van de distributiecentra naar de klanten te brengen.

Verder worden enkele assumpties toegepast binnen deze masterproef die van toepassing zijn op ieder logistiek systeem. Een eerste assumptie die verder wordt toegepast binnen ieder logistiek systeem, is het principe van lost sales. Dit wil zeggen dat moest een klant niet voldaan worden vanwege een gebrek aan inventaris, dan wordt de klant niet meegenomen naar een volgende periode als een backlog. Deze assumptie wordt gemaakt om de logistieke systemen minder complex te maken. Een tweede assumptie die wordt gemaakt is het gebruik van verwaarloosbare lead times. Dit wil zeggen dat als een order wordt geplaatst om de inventaris binnen de distributiecentra weer aan te vullen, deze inventaris onmiddellijk wordt aangevuld aan de start van iedere periode. Een derde assumptie die wordt toegepast is het veronderstellen dat de distributiecentra eenzelfde kostenstructuur bevatten. Dit verklaart waarom enkel gefocust wordt op de shortage kost en holding kost van ieder depot in plaats van andere kosten in acht te nemen. Een vierde assumptie die wordt toegepast is dat enkel de dichtstbijzijnde klanten worden bediend door het depot in het geval van een tekort. Dit wil zeggen dat de klanten die zich in het servicegebied van het distributiecentrum bevinden en er is onvoldoende inventaris in het distributiecentrum om één extra klant te belevaren binnen zijn servicegebied, dan wordt deze niet beleverd. Een vijfde assumptie is het feit dat het aantal klanten en hun vraag gekend is op voorhand waardoor het makkelijker is om de optimale voorraadkosten te berekenen. Een zesde assumptie geeft aan dat er voldoende voertuigen zijn met voldoende capaciteit om de gehele voorraad te kunnen belevaren. Binnen deze masterproef zal ieder voertuig beschikken over een capaciteit van 50 eenheden.

Al deze berekeningen en bewerkingen worden uitgevoerd op een HP Elitebook 850 G8 Notebook PC met een 11th Gen Intel(R) Core (TM) i5-1135G7 CPU die kan werken tot 2.42 GHz.

3.2 SYSTEEM ZONDER POOLING

Binnen het systeem zonder pooling wordt gebruik gemaakt van een strategie waarbij de depots niet samenwerken. Zo stelt ieder depot zijn eigen inventaris en rittenplanning op. Hierdoor worden de klanten voldaan door de initieel toegewezen distributiecentra. Vervolgens worden de optimale inventaris en rittenplanning berekend voor ieder depot apart. Het systeem zonder pooling wordt voorgesteld binnen figuur 5.



Figuur 5: Systeem zonder pooling voor drie distributiecentra

3.2.1 Optimale inventarisbeleid

Het aantal klanten die zich binnen het servicegebied van een depot D_i bevinden is normaal verdeeld met een gemiddelde μ_i en een variantie σ_i^2 . $D \sim (50, 10)$. De vraag van iedere klant is willekeurig verdeeld tussen 1 en 6 eenheden $q_{ik} \in [1, 6]$. De som van deze verdelingen zorgt voor de goederenvraag van een distributiecentrum Q_i . Deze data wordt synthetisch gegenereerd volgens instantie één die vermeld werd binnen sectie 3.1. De optimale order-up-to levels van ieder depot met verwaarloosbare lead times \bar{S}_i kunnen berekend worden aan de hand van Solver binnen Microsoft Excel. De oplossingsmethode die wordt toegepast binnen Solver is de GRG Non-lineair oplossingsmethode. Hierbij worden de shortage kosten en holding kosten berekend, die afhankelijk zijn van \bar{S}_i , van iedere periode en met elkaar opgeteld om voor iedere periode een voorraadkost te bekomen. Vervolgens worden de voorraadkosten van iedere periode met elkaar opgeteld zodat de lange termijn voorraadkost kan worden bekomen. De lange termijn voorraadkost wordt vervolgens geminimaliseerd aan de hand van "Solver" door \bar{S}_i te laten variëren. Hierdoor wordt een optimale samenstelling van order-up-to levels samengesteld die de voorraadniveaus voorstelt van de distributiecentra. Deze voorraadniveaus zijn een beperking op het aantal goederen die een distributiecentrum kan leveren aan zijn klanten. De bekomen order-up-to levels \bar{S}_i worden vervolgens toegepast op de tweede instantie van synthetisch gegenereerde data.

3.2.2 Ordertoewijzing

Om te achterhalen hoe de orders van de klanten worden toegewezen aan ieder depot, wordt gebruik gemaakt van toewijzingsalgoritme1. Dit algoritme gaat na of de klanten die initieel zijn toegewezen aan de depots kunnen beleverd worden door hun toegewezen depot. Als de goederenvraag van een distributiecentrum Q_i groter is dan het order-up-to level \bar{S}_i , dan worden klanten die zich het verste van

het distributiecentrum bevinden niet voldaan en verwijderd uit het servicegebied. Het verwijderen van klanten blijft gebeuren totdat de totale vraag van een depot gelijk is aan of kleiner is dan het order-up-to level \bar{S}_i van het distributiecentrum. Dit algoritme berekent hierdoor de tekorten, overschotten, shortage kosten en de holding kosten van de distributiecentra en geeft aan welke klanten uiteindelijk beleverd kunnen worden door hun toegewezen distributiecentrum. Een voorbeeld hiervan is dat als het order-up-to level van een depot 178 eenheden bevat en de vraag is 180, dan wordt de klant die zich het verste bevindt van het distributiecentrum verwijderd uit het servicegebied. Als deze klant een vraag heeft van 4 eenheden, dan zal de nieuwe totale vraag voor het depot 176 eenheden bevatten. Hierdoor ontstaat een overschot van 2 en een tekort van 4.

3.2.3 Rittenplanning

De rittenplanning kan berekend worden door voor ieder distributiecentrum het rittenplanningsalgoritme toe te passen. Het rittenplanningsalgoritme is een algoritme gebaseerd op een capacitated vehicle routing probleem. Dit algoritme bevat een input van het aantal klanten (N), het aantal vertices (V), het aantal arcs (A), de capaciteit van ieder voertuig (Q) en de vraag van iedere klant (q). Dit algoritme wordt uitgevoerd voor ieder depot apart en dat voor iedere periode. Het algoritme maakt gebruik van Gurobi/Gurobipy, dat werd geprogrammeerd binnen Python, om de minimale transportkosten van iedere depot te bekomen voor iedere periode. De wiskundige formulering van dit vehicle routing probleem wordt op volgende manier voorgesteld:

$$\begin{aligned}
 \text{Min} \quad & \sum_{i,j \in A} c_{ij} x_{ij} \\
 \text{s.t.} \quad & \sum_{j \in V, j \neq i} x_{ij} = 1 && i \in N \\
 & \sum_{i \in V, i \neq j} x_{ij} = 1 && j \in N \\
 & \text{Als } x_{ij} = 1 \rightarrow u_i + q_j = u_j && i, j \in A: j \neq 0, i \neq 0 \\
 & q_i \leq u_i \leq Q && i \in N \\
 & x_{ij} \in \{0, 1\} && i, j \in A
 \end{aligned}$$

Om een zo goed mogelijke uitkomst te bekomen en om voldoende rekentijd te geven aan iedere periode van ieder depot, wordt binnen deze masterproef geopteerd om de Gurobi optimalisatie te laten runnen voor 5 minuten. Dit kan wel zorgen voor suboptimale rittenplanningen.

3.2.4 Samenvatting

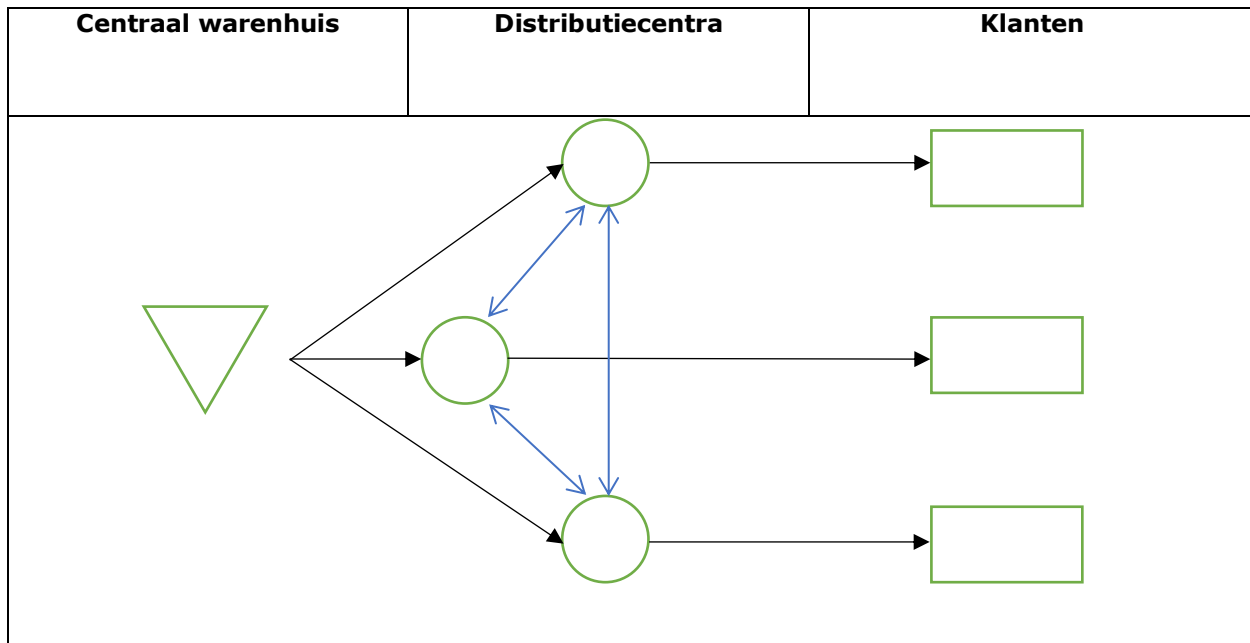
Kort samengevat, worden de kosten op volgende manier berekend binnen een systeem zonder pooling. Eerst worden de order-up-to levels ($\bar{S}_i, \bar{S}_j \dots$) bepaald aan de hand van "Solver" binnen een Microsoft Excel document. Hierdoor wordt de beste samenstelling bekomen van order-up-to levels voor de eerste instantie van synthetisch gegenereerde data. Als tweede wordt de tweede instantie aan synthetisch data

gegenereerd voor 100 periodes en wordt (1) aan de hand van toewijzingsalgoritme1 achterhaald hoeveel klanten worden voldaan en wat de overschotten, tekorten, shortage kost en holding kost is, (2) het rittenplanningsalgoritme toegepast om de rittenplanning en de transportkosten te bepalen voor elk distributiecentrum en (3) de inventaris wordt aangevuld tot aan het order-up-to level van het toegewezen distributiecentrum. Deze gehele procedure wordt uitgevoerd voor een logistiek systeem met twee distributiecentra en een symmetrisch logistiek systeem met drie distributiecentra. Hierbij wordt een shortage kost per eenheid toegepast van $s = 6$ en $s = 12$ binnen ieder logistiek systeem.

3.3 SYSTEEM MET POOLING VAN INVENTARIS VIA LATERALE TRANSSHIPMENTS

Bij het tweede systeem wordt gebruik gemaakt van een strategie waarbij de inventaris gepooled wordt aan de hand van laterale transshipments. Binnen dit systeem wordt verondersteld dat de pooling gebeurt aan de hand van reactieve transshipments die onmiddellijk worden uitgevoerd. Hiermee wordt bedoeld dat als een depot i een tekort ondervindt $S_i - Q_i < 0$ aan het begin van een periode, dan zal een depot dat extra inventaris overheeft aan het begin van die periode $S_i - Q_i > 0$ onmiddellijk een transshipment uitvoeren van $\min(Q_i - S_i, S_j - Q_j)$ eenheden. Door deze beleving uit te voeren tussen depots, kan de shortage kost en holding kost verminderd worden van het logistieke systeem en kan op zijn beurt de lange termijn voorraadkosten verminderd worden ten opzichte van een systeem dat geen pooling toepast.

Binnen dit systeem wordt gebruik gemaakt van een beleid dat zich focust op het minimaliseren van de bereiden afstand tijdens het transshipment proces. Het doel van zo een transshipment plan valt samen met het oplossen van een transportprobleem waarbij depots met overschotten de depots met tekorten kunnen ondersteunen. Wanneer het gaat over een logistiek systeem met twee distributiecentra of over een symmetrisch logistiek systeem met drie distributiecentra, dan kan het probleem opgelost worden door het aantal transshipments te minimaliseren op de volgende manier; (1) Als een depot tekorten ondervindt, dan gaat het distributiecentrum met de hoogste inventaris zoveel mogelijk goederen leveren via een transshipment om de tekorten weg te werken. (2) Als er na één transshipment nog een tekort is, dan zal een tweede transshipment uitgevoerd worden door een derde depot. (3) Als er meerdere depots zijn die een tekort ondervinden, dan wordt eerst het depot met de meeste tekorten aangevuld. Door zich aan deze assumpties te houden, zullen er zo veel mogelijk tekorten weggewerkt worden. Het pooling systeem aan de hand van laterale transshipments wordt voorgesteld binnen figuur 6.



Figuur 6: Pooling systeem aan de hand van transshipments (blauwe pijlen) voor drie distributiecentra

3.3.1 Optimale inventarisbeleid

Door het uitvoeren van transshipments binnen de eerste instantie van synthetisch gegenereerde data, worden de logistieke systemen complexer omdat ieder distributiecentrum afhankelijk is van elkaar. Deze afhankelijkheden worden in rekening gebracht door bovenstaande assumpties toe te passen binnen de expressies van een Microsoft Excel bestand en daarop Solver toe te passen. Hierbij wordt eerst voor ieder distributiecentrum een vraag aan goederen gegenereerd Q_i . Vervolgens worden de shortage kosten en holding kosten berekend die afhankelijk zijn van de order-up-to levels S_i^* . Als een tekort ontstaat in één distributiecentrum of meerdere distributiecentra, dan wordt een transshipment uitgevoerd. De transshipment wordt uitgevoerd om de inventaris van depots met tekorten te vergroten zodat zo veel mogelijk klanten kunnen worden voldaan. Als reactie op de uitgevoerde transshipment, worden de shortage kosten en holding kosten geüpdatet. Hierna worden de nieuwe shortage kosten en holding kosten van iedere periode met elkaar opgeteld om voor iedere periode een voorraadkost te bekomen. Vervolgens worden de voorraadkosten van iedere periode met elkaar opgeteld zodat de lange termijn voorraadkost wordt bekomen. De lange termijn voorraadkost wordt geminimaliseerd aan de hand van Solver door S_i^* te laten variëren. Hierdoor wordt een samenstelling van order-up-to levels gemaakt die het totale aanbod van goederen voorstelt binnen het logistiek systeem. Deze order-up-to levels zijn de goederen die de distributiecentra kunnen leveren aan hun toegewezen klanten. Hierbij wordt de transshipment kost niet in rekening gebracht aangezien het doel is om de voorraadkosten te verminderen, ongeacht de kosten van de transshipment. De bekomen order-up-to levels worden vervolgens toegepast op de tweede instantie van synthetisch gegenereerde data.

3.3.2 Ordertoewijzing

Om te achterhalen hoe de orders van de klanten worden toegewezen aan het depot, wordt gebruik gemaakt van toewijzingsalgoritme1. Dit algoritme wordt omschreven binnen sectie 3.2.2. Het algoritme achterhaald welke klanten worden beleverd, wat de overschotten zijn en wat de tekorten zijn van het logistiek systeem.

3.3.3 Transshipments en nieuwe voorraadniveaus

Om te achterhalen of een transshipment moet worden uitgevoerd en de voorraadniveaus van de distributiecentra moeten worden aangepast, wordt gebruik gemaakt van het transshipmentalgoritme. Het transshipmentalgoritme maakt gebruik van de tekorten en overschotten die werden gegenereerd door gebruik te maken van toewijzingsalgoritme1. Op basis daarvan gaat het transshipmentalgoritme ervoor zorgen dat het depot met de grootste tekorten een transshipment krijgt van het depot met de grootste overschotten. Deze transshipments worden uitgevoerd totdat alle tekorten weg zijn of totdat er geen overschotten meer zijn om te verdelen over de depots. Het transshipmentalgoritme houdt bij hoeveel transshipments worden uitgevoerd en creëert nieuwe voorraadniveaus voor de verschillende distributiecentra. De inventarissen van de distributiecentra met tekorten worden verhoogd als een transshipment naar hen wordt uitgevoerd en de inventarissen van de distributiecentra met overschotten worden verlaagd totdat de overschotten zijn weggewerkt of totdat alle tekorten zijn weggewerkt. Verder worden de transshipmentkosten gedefinieerd. Deze worden gedefinieerd als een heen en terug rit tussen depots. Hierbij worden loading kosten, unloading kosten enzovoorts genegeerd. De kost wordt bepaald door twee keer de afstand te nemen die nodig is om van depot i naar depot j te reizen. Hierdoor wordt een bepaalde transshipmentkost geïdentificeerd voor iedere periode. Deze transshipment kost wordt vervolgens toegevoegd aan de transportkosten aangezien de transshipment kost een kost is die ontstaat door het transport tussen twee distributiecentra. De afstand tussen de depots is in ieder logistiek systeem 40. Dit wil zeggen dat de kost per transshipment gelijk is aan 80.

3.3.4 Nieuwe ordertoewijzing

Door gebruik te maken van het transshipmentalgoritme worden nieuwe voorraadniveaus gegenereerd voor de verschillende distributiecentra. Doordat nieuwe voorraadniveaus zijn gegenereerd, wordt ordertoewijzingsalgoritme1 opnieuw gebruikt maar dan met de nieuwe voorraadniveaus als input. Dit zal een impact hebben op de toewijzing van de klanten en zorgt ervoor dat meer klanten kunnen voldaan worden door hun toegewezen distributiecentrum. Vervolgens wordt de ordertoewijzing, overschotten, tekorten, shortage kost en holding kost geüpdatet.

3.3.5 Rittenplanning

Vergelijkbaar met het systeem zonder pooling, wordt de distributie vanuit de depots naar de klanten autonoom uitgevoerd. Hiermee wordt bedoeld dat de rittenplanning geen invloed heeft op de voorraadniveaus en daaruit volgt dat het optimale inventarisbeleid onafhankelijk is van de rittenplanning. De rittenplanning kan berekend worden door voor ieder distributiecentrum het rittenplanningalgoritme toe te passen dat werd omschreven binnen sectie 3.2.3.

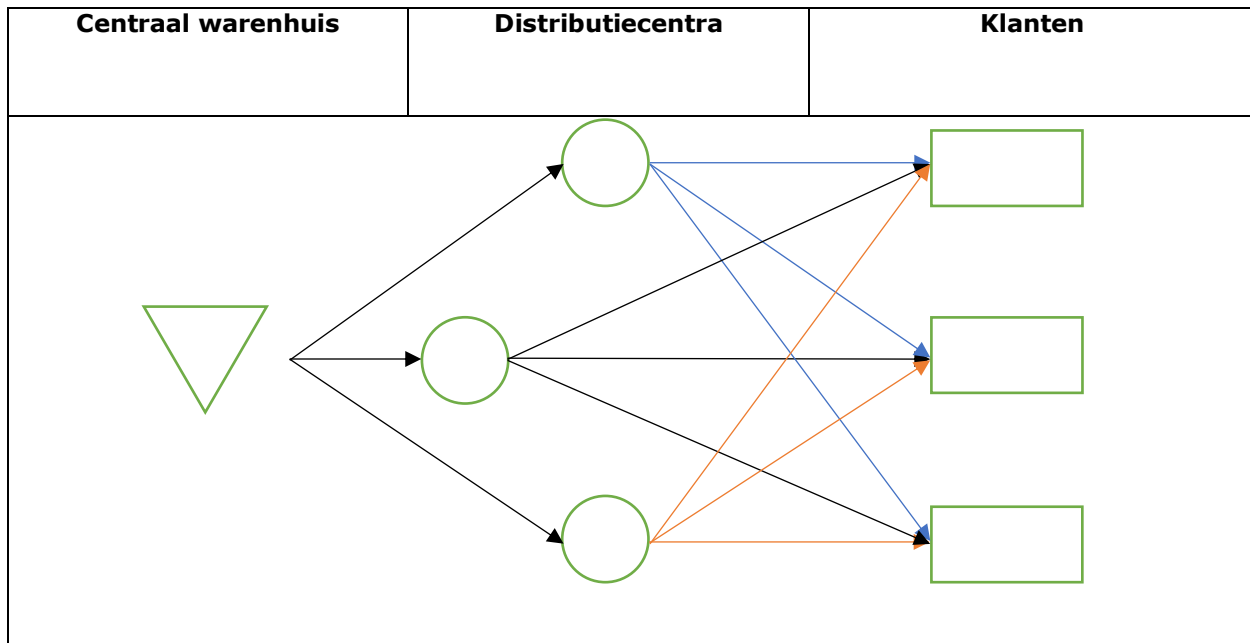
3.3.6 Samenvatting

Kort samengevat worden de kosten op volgende manier berekend binnen een systeem met pooling van inventaris via laterale transshipments. Eerst worden de order-up-to levels (S_i^*, S_j^*, \dots) bepaald aan de hand van Solver binnen het programma Microsoft Excel voor 100 periodes. Hierdoor wordt de beste samenstelling bekomen van order-up-to levels voor de eerste instantie van synthetisch gegenereerde data. Als tweede wordt de tweede instantie aan synthetisch data gegenereerd voor 100 periodes en wordt verder (1) aan de hand van toewijzingsalgoritme1 achterhaald hoeveel klanten worden voldaan en wat de overschotten en tekorten zijn van ieder distributiecentrum, (2) de output van toewijzingsalgoritme1 gebruikt binnen het transshipmentalgoritme om te achterhalen wat de transshipmentkost is en wat de nieuwe voorraadniveaus zijn van ieder depot, (3) opnieuw gebruik gemaakt van toewijzingsalgoritme 1 maar dan met de nieuwe voorraadniveaus als input zodat achterhaald kan worden welke klanten worden voldaan en wat de nieuwe overschotten, tekorten, shortage kost en holding kost is, (4) het rittenplanningalgoritme toegepast om de rittenplanning en de transportkosten te bepalen voor elk distributiecentrum en (5) de inventaris wordt aangevuld tot aan het order-up-to level van het toegewezen depot. Deze gehele procedure wordt uitgevoerd voor een logistiek systeem met twee distributiecentra en een symmetrisch logistiek systeem met drie distributiecentra. Hierbij wordt een shortage kost per eenheid toegepast van $s = 6$ en 12 binnen ieder logistiek systeem.

3.4 SYSTEEM MET POOLING VAN INVENTARIS VIA DISTRIBUTION SHARING

Bij het derde systeem wordt gebruik gemaakt van een strategie waarbij de depots niet de inventaris gaan poolen via laterale transshipments maar waarbij de ordertoewijzing tussen de distributiecentra wordt gecoördineerd. Hierdoor kunnen klanten van depots met tekorten worden beleverd door eender welk depot met overschotten. Dit zorgt op zijn beurt ervoor dat de voorraadkost voor het gehele logistieke systeem geminimaliseerd wordt en dat transport beter wordt gemanaged. De opzet van dit derde systeem wordt ook gebruikt in het MDVRP.

De standaard opzet van een MDVRP kan hier helaas niet gebruikt worden aangezien het MDVRP geen rekening houdt met de inventaris van een depot. In plaats van altijd alle klanten te leveren vanuit het dichtstbijzijnde depot, moet er gekeken worden of het depot het product nog in zijn inventaris heeft. Moest het depot het product niet meer in zijn inventaris hebben dan zal de klant door een ander depot beleverd moeten worden. Om hier rekening mee te houden, wordt binnen deze masterproef een variant van het MDVRP onderzocht. Deze variant van het MDVRP is het multi depot vehicle routing problem with inventory restrictions (MDVRPI). Zo wordt er, gegeven een set van klanten met een gekende vraag en gegeven enkele depots met elk een gedefinieerde inventaris, een rittenplan met de laagste transportkosten gevonden zodat aan zo veel mogelijk vraag wordt voldaan. Het pooling systeem aan de hand van distribution sharing wordt grafisch weergegeven in figuur 7.



Figuur 7: Pooling systeem aan de hand van distribution sharing voor drie distributiecentra

3.4.1 Optimale inventarisbeleid

Binnen het MDVRPI-model is de globale inventaris beschikbaar om alle klanten van het logistieke systeem te beleveren. Hierdoor wordt de inventaris gepooled zonder gebruik te maken van transshipments en kan ieder depot zo veel mogelijk klanten beleveren. De mogelijkheid waarbij ieder depot iedere klant kan beleveren, heeft een impact op de inventarisniveaus van een depot aan het einde van een periode. Dit wil zeggen dat er een onderlinge afhankelijkheid is tussen inventaris en leveren waardoor het bepalen van de order-up-to levels moeilijker is. Daarom worden enkele handelingen genomen zodat het inventarisbeleid onafhankelijk van de rittenplannen kan worden opgesteld.

Om de order-up-to levels te bepalen voor een logistiek systeem met twee depots en een symmetrisch logistiek systeem met drie depots moeten enkele handelingen worden uitgevoerd. Zo worden de klanten van een depot D_i gegenereerd. Deze klantverdeling is normaal verdeeld met een gemiddelde $\mu_i = 50$ en een variantie $\sigma_i^2 = 100$. De vraag van iedere klant is willekeurig verdeeld $q_{ik} \in [1, 6]$. De som van deze vragen zorgt voor de goederenvraag van een distributiecentrum Q_i . Voor iedere periode wordt de som genomen van Q_i zodat de totale goederenvraag van het logistiek systeem in een bepaalde periode kan bekomen worden T . Deze datageneratie komt overeen met de synthetisch gegenereerde data van instantie één in sectie 3.1. De order-up-to levels van ieder depot met verwaarloosbare lead times S_i^* kan berekend worden aan de hand van Solver binnen Microsoft Excel. Deze berekening wordt uitgevoerd aan de hand van een assumptie. Deze assumptie is als volgt;

Als de inventaris gepooled wordt en de distributiecentra hebben dezelfde kostenstructuur, dan zullen alle voorraadbeleidstrajecten waarin de som van de order-up-to levels $S_i + S_j + \dots$ gelijk is, resulteren in dezelfde voorraadkost $ch + cs$.

Deze assumptie vereenvoudigt het bepalen van het voorraadbeleid indien distributie wordt gepooled. De som van de order-up-to levels $S_1 + S_j + \dots$ kan eenvoudig berekend worden binnen Microsoft Excel door gebruik te maken van Solver. Verder moet enkel worden bepaald hoe het globale order-up-to level moet worden verdeeld over de samenwerkende distributiecentra zodat de transportkosten worden geminimaliseerd. Voor instanties waarbij het gaat over een logistiek systeem met twee depots en een symmetrisch logistiek systeem met drie depots, is er geen reden om meer inventaris te stockeren in eender welk distributiecentrum. Er hoeft niet meer inventaris gestockeerd te worden in een bepaald distributiecentrum vanwege het feit dat binnen een symmetrisch logistiek systeem ieder distributiecentrum uitwisselbaar is. Hierdoor wordt het optimale inventarisbeleid bekomen door $S_1 = S_j = \dots$. Op basis van deze assumpties wordt Solver toegepast. Dit wordt gedaan door voor iedere periode van het logistiek systeem een globaal order-up-to level S^* te laten variëren. Hiernaast moet de lange termijn voorraadkosten te minimaliseren. Deze kan geminimaliseerd worden door de som van $T - S^*$ over 100 periodes te minimaliseren. Om de order-up-to levels dan te bepalen per depot, wordt het globaal order-up-to level gedeeld door het aantal depots in het logistiek systeem. Deze bekomen order-up-to levels worden vervolgens toegepast op de tweede instantie van synthetisch gegenereerde data die werd omschreven binnen sectie 3.1 om de shortage kost, holdingkost en transportkosten te berekenen die uiteindelijk worden geanalyseerd.

3.4.2 Ordertoewijzing

De ordertoewijzing in het pooling systeem aan de hand van distribution sharing verloopt anders dan de ordertoewijzing in de vorige twee systemen. In eerste instantie worden de tekorten en overschotten van ieder depot bepaald. Deze worden bepaald door de order-up-to levels van ieder distributiecentrum af te trekken van zijn totale vraag in de desbetreffende periode Q_i .

Eens duidelijk is hoeveel overschot en tekorten ieder distributiecentrum bevat wordt een algoritme gebruikt om klanten te verdelen over de verschillende distributiecentra in de desbetreffende periode. Dit algoritme is Toewijzingsalgoritme2. Als er geen tekorten zijn binnen een periode, dan worden de klanten beleverd door de depots zoals ze initieel gegenereerd werden. Als er wel tekorten zijn, dan worden de afstanden berekend van de klanten van een distributiecentrum met tekorten ten opzichte van distributiecentra met overschotten. Vervolgens worden de vijf kortste afstanden genomen en wordt er nagegaan of het depot met overschot de klant kan leveren. Als de klant beleverd kan worden, wordt de klant toegevoegd aan het distributiecentrum met overschot en verwijderd van het distributiecentrum met tekorten. Dit zorgt ervoor dat het tekort van het distributiecentrum met onvoldoende producten afneemt en dat het overschot van het distributiecentrum met te veel producten ook afneemt. Als het depot met overschot nog producten heeft maar niet voldoende om de klant te bedienen, dan wordt er verder gezocht naar een klant die wel door hem kan beleverd worden. In de tussentijd kunnen andere klanten van het distributiecentrum met tekorten toegewezen worden aan een ander distributiecentrum met overschotten. Dit wordt uitgevoerd totdat er geen overschotten meer zijn of totdat de tekorten zijn weggewerkt in het systeem. Als er nog tekorten zijn en alle overschotten zijn weggewerkt of er kunnen geen klanten meer beleverd worden met de overschotten, dan worden de klanten die zich het verste

bevinden van het distributiecentrum met tekorten verwijderd vanwege het lost sales principe. De vraag van de niet beleverde klanten wordt vervolgens doorgerekend als effectief tekort.

Na het uitvoeren van Toewijzingsalgoritme2 is duidelijk welke orders aan welk depot wordt toegewezen en hoeveel goederen worden beleverd.

3.4.3 Rittenplanning

Vergelijkbaar met de vorige systemen, wordt de distributie vanuit de distributiecentra naar de klanten berekend door voor ieder distributiecentrum het rittenplanningsalgoritme toe te passen dat werd omschreven binnen sectie 3.2.3. Hieruit volgt de transportkost van ieder distributiecentrum.

3.4.4 Samenvatting

Kort samengevat worden de kosten op volgende manier berekend binnen een systeem met pooling van inventaris aan de hand van distribution sharing. Eerst worden voor een logistiek systeem met twee depots en een symmetrisch logistiek systeem met drie depots de order-up-to levels (S_i^*, S_j^*, \dots) bepaald aan de hand van Solver binnen het programma Microsoft Excel voor 100 periodes. Hierdoor wordt de beste samenstelling bekomen van order-up-to levels voor de eerste instantie van synthetisch gegenereerde data. Als tweede wordt de tweede instantie aan synthetisch data gegenereerd voor 100 periodes en wordt verder (1) aan de hand van Toewijzingsalgoritme2 wordt achterhaald hoeveel klanten worden voldaan, door welk distributiecentrum ze worden voldaan en wat de overschotten, tekorten, shortage kost en holding kost zijn/is van ieder distributiecentrum, (2) het rittenplanningsalgoritme toegepast om de rittenplanning en de transportkosten te bepalen voor elk distributiecentrum en (3) de inventaris aangevuld tot aan het order-up-to level van het toegewezen depot. Deze gehele procedure wordt uitgevoerd voor een logistiek systeem met twee distributiecentra en een symmetrisch logistiek systeem met drie distributiecentra. Hierbij wordt een shortage kost per eenheid toegepast van $s = 6$ en 12 binnen ieder logistiek systeem.

4 RESULTATEN

Binnen deze sectie worden de resultaten geanalyseerd. Eerst worden voorraadniveaus besproken. Hierbij worden de gemiddelde shortage kosten en gemiddelde holding kosten statistisch getest aan de hand van two-tailed one-sample t-testen. Door deze testen uit te voeren kan achterhaald worden of de verschillende voorraadkosten worden weggewerkt en gelijk kunnen gesteld worden aan 0. Als tweede worden de voorraadkosten (de som van de shortage kost en de holding kost), de transportkosten en de e-fulfilment kost (de som van de voorraadkosten en de transportkosten) vergeleken tussen de verschillende systemen aan de hand van two-tailed gepaarde t-testen. Dit wordt gedaan om te achterhalen welke systemen significant beter presteren. Een bespreking van deze resultaten volgt in sectie 5.

4.1 OPTIMALE INVENTARIS

Ten eerste worden de geoptimaliseerde voorraadniveaus geanalyseerd. De geoptimaliseerde voorraadniveaus werden bekomen door de Solver extensie binnen Microsoft Excel toe te passen op de eerste instantie synthetisch gegenereerde data. Hierdoor worden verschillende samenstellingen van inventarissen bekomen. Deze worden weergegeven in tabel 5 voor verschillende systemen met twee depots en in tabel 6 voor verschillende systemen met drie depots.

	ZONDER POOLING		POOLING MET LATERALE TRANSSHIPMENTS		POOLING MET DISTRIBUTION SHARING	
	Shortage Kost per Eenheid = 6	Shortage Kost per Eenheid = 12	Shortage Kost per Eenheid = 6	Shortage Kost per Eenheid = 12	Shortage Kost per Eenheid = 6	Shortage Kost per Eenheid = 12
S₁	213	240	210	217	210	217
S₂	223	230	210	216	210	216
$\sum s$	436	470	420	433	420	433

Tabel 5: Optimale inventarissen voor verschillende systemen met twee depots

	ZONDER POOLING		POOLING MET LATERALE TRANSSHIPMENTS		POOLING MET DISTRIBUTION SHARING	
	Shortage Kost per Eenheid = 6	Shortage Kost per Eenheid = 12	Shortage Kost per Eenheid = 6	Shortage Kost per Eenheid = 12	Shortage Kost per Eenheid = 6	Shortage Kost per Eenheid = 12
S₁	213	240	198	203	198	203
S₂	223	230	198	203	198	203
S₃	207	223	198	203	198	203
$\sum s$	643	693	594	609	594	609

Tabel 6: Optimale inventarissen voor verschillende systemen met drie depots

Uit tabel 6 valt af te leiden dat de voorraadniveaus van beide poolingsystemen gelijk zijn elkaar. Hiernaast valt op dat de voorraadniveaus tussen het systeem zonder pooling nadrukkelijk hoger is dan de voorraadniveaus van de systemen die pooling toepassen. Dit verschil tussen de voorraadniveaus valt meer op in tabel 6. Tot slot is het interessant om op te merken dat de totale voorraadniveaus een grote sprong maken in het systeem zonder pooling naarmate de shortage kost toeneemt. Deze stijgingen in voorraadniveaus naarmate de shortage kost per eenheid toeneemt zijn relatief klein binnen de systemen die wel pooling toepassen.

De weergegeven voorraadniveaus in tabel 5 en 6 werden toegepast op de tweede instantie van synthetisch gegenereerde data. Door deze voorraadniveaus toe te passen ontstonden shortage kosten en holding kosten binnen de logistieke systemen. Deze voorraadkosten worden afgetoetst aan de hand van een two-tailed one-sample t-testen. De two-tailed one-sample t-testen worden toegepast binnen Microsoft Excel om te achterhalen of de voorraadniveaus ervoor zorgen dat de voorraadkosten worden weggewerkt op een 5% of een 1% significantieniveau. Hierbij werden volgende hypothesen opgesteld;

Hypothesen om de shortage kost te analyseren:

$$H_0 : \overline{Shortage\ Kost} = 0$$

$$H_a : \overline{Shortage\ Kost} \neq 0$$

Hypothesen voor de holding kost te analyseren:

$$H_0 : \overline{Holding\ Kost} = 0$$

$$H_a : \overline{Holding\ Kost} \neq 0$$

De resultaten van de two-tailed one-sample t-testen kunnen worden weergegeven in de onderstaande tabellen.

4.1.1 Inventarismanagement met geen pooling

Shortage Kost / Holding Kost	# Depots	Type Shortage Kost per Eenheid	Gemiddelde kost	Standaardafwijking kost	P-Waarde	Verwerp of Accepteer H ₀
Shortage Kost	2	6	4.26	22.422	0.060	Accepteer
Shortage Kost	2	12	4.2	27.889	0.135	Accepteer
Shortage Kost	3	6	8.28	33.410	0.015*	Verwerp
Shortage Kost	3	12	7.44	38.472	0.056	Accepteer
Holding Kost	2	6	133.93	37.728	0.000**	Verwerp
Holding Kost	2	12	167.57	38.282	0.000**	Verwerp
Holding Kost	3	6	191.07	51.053	0.000**	Verwerp
Holding Kost	3	12	240.31	51.742	0.000**	Verwerp

Tabel 7: Resultaten one-sample t-test van shortage kost en holding kost van een systeem zonder pooling (* = p-waarde is significant op een 5% significantieniveau, ** = p-waarde is significant op een 1% significantieniveau)

Uit tabel 7 valt af te leiden dat de gemiddelde shortage kost van een systeem zonder pooling met twee depots en een shortage kost per eenheid van 6 niet significant verschillend is van 0 op een 5% significantieniveau. Dit wil zeggen dat de nulhypothese wordt geaccepteerd. Voor een twee en drie depot model met een shortage kost per eenheid gelijk aan 12 wordt ook de nulhypothese geaccepteerd op een 5% significantieniveau. Dit wil zeggen dat de gemiddelde shortage kost binnen deze modellen worden vermeden en gemiddeld gezien gelijk zijn aan 0. Echter is de gemiddelde shortage kost binnen een drie depot model met een shortage kost per eenheid gelijk aan 6 significant verschillend van 0 op een 5% significantieniveau. Dit wil zeggen dat de gemiddelde shortage kosten binnen dit model niet worden geëlimineerd. Voor dit model is er gemiddeld gezien wel nog een shortage kost. Wat betreft de gemiddelde holding kosten, kan gesteld worden dat de gemiddelde holding kosten voor ieder model significant verschillend zijn van 0 op een 1% significantieniveau. Dit wil zeggen dat de gemiddelde holdingkosten niet worden vermeden binnen deze modellen.

4.1.2 Inventarismanagement met pooling aan de hand van reactie transshipments

Shortage Kost / Holding Kost	# Depots	Type Shortage Kost per Eenheid	Gemiddelde kost	Standaardafwijking kost	P-Waarde	Verwerp of Accepteer H ₀
Shortage Kost	2	6	0	0	1	Accepteer
Shortage Kost	2	12	0	0	1	Accepteer
Shortage Kost	3	6	0	0	1	Accepteer
Shortage Kost	3	12	0	0	1	Accepteer
Holding Kost	2	6	117.22	38.780	0.000**	Verwerp
Holding Kost	2	12	130.22	38.780	0.000**	Verwerp
Holding Kost	3	6	140.69	52.194	0.000**	Verwerp
Holding Kost	3	12	155.69	52.194	0.000**	Verwerp

Tabel 8: Resultaten one-sample t-test van shortage kost en holding kost van een systeem met pooling aan de hand van reactieve transshipments (** = p-waarde is significant op een 1% significantieniveau)

Uit tabel 8 kan afgeleid worden dat de shortage kosten voor ieder model dat een poolingsysteem toepast aan de hand van transshipments worden vermeden. Dit valt op doordat de gemiddelden en standaardafwijkingen in ieder model gelijk zijn aan 0. Dit zorgt op zijn beurt ervoor dat de nulhypotheses geaccepteerd worden. Wat de holdingkosten betreft, kan voor ieder model dat gebruik maakt van pooling aan de hand van reactieve transshipments gesteld worden dat de holding kosten significant verschillend zijn van 0 op een 1% significantieniveau. Dit wil zeggen dat de holding kosten niet vermeden worden.

4.1.3 Inventarismanagement met pooling aan de hand van distribution sharing

Shortage Kost / Holding Kost	# Depots	Type Shortage Kost per Eenheid	Gemiddelde kost	Standaardafwijking kost	P-Waarde	Verwerp of Accepteer H ₀
Shortage Kost	2	6	0	0	1	Accepteer
Shortage Kost	2	12	0	0	1	Accepteer
Shortage Kost	3	6	0	0	1	Accepteer
Shortage Kost	3	12	0	0	1	Accepteer
Holding Kost	2	6	117.22	38.780	0.000**	Verwerp
Holding Kost	2	12	130.22	38.780	0.000**	Verwerp
Holding Kost	3	6	140.69	52.194	0.000**	Verwerp
Holding Kost	3	12	155.69	52.194	0.000**	Verwerp

Tabel 9: Resultaten one-sample t-test van shortage kost en holding kost van een systeem met pooling aan de hand van distribution sharing

Uit tabel 9 kan afgeleid worden dat de gemiddelde shortage kosten voor ieder model dat een poolingsysteem toepast aan de hand van distribution sharing worden geëlimineerd. Dit valt op doordat de gemiddelden en standaardafwijkingen in ieder model gelijk zijn aan 0. Dit zorgt op zijn beurt ervoor dat de nulhypoteses geaccepteerd worden. Wat de holdingkosten betreft, kan voor ieder model dat gebruik maakt van pooling aan de hand van distribution sharing gesteld worden dat de gemiddelde holding kosten significant verschillend zijn van 0 op een 1% significantieniveau. Dit wil zeggen dat de holding kosten niet geëlimineerd worden. Wat in het oog springt wanneer tabel 8 en tabel 9 met elkaar vergelekt worden, is dat beide tabellen dezelfde waarden bevatten.

4.2 OPTIMALE SYSTEMEN

Binnen deze sectie worden de verschillende modellen vergeleken met elkaar aan de hand van two-tailed gepaarde t-testen. Dit wordt gedaan om te achterhalen welke van de logistieke systemen het beste presteert. Het vergelijken wordt uitgevoerd door de verschillen in voorraadkosten (som van shortage kost en holding kost), transportkosten en e-fulfilment kosten (som van voorraadkost en transportkosten) te analyseren. Deze analyses worden uitgevoerd binnen Microsoft Excel.

4.2.1 Vergelijking Geen Pooling VS Reactieve Transshipments

De vergelijking tussen het systeem dat geen pooling toepast en het systeem dat pooling toepast aan de hand van reactieve transshipments wordt uitgevoerd door gebruik te maken van two-tailed gepaarde t-testen. Deze t-testen worden uitgevoerd op de gemiddelde voorraadkosten, transportkosten en e-fulfilment kosten. Hierbij worden de gemiddelde kosten van het poolingsysteem aan de hand van transshipments afgetrokken van de gemiddelde kosten van het systeem zonder pooling. Vier modellen worden met elkaar vergeleken, namelijk het model met twee depots en een shortage kost van 6 per eenheid, het model met twee depots en een shortage kost van 12 per eenheid, het model met drie depots en een shortage kost van 6 per eenheid en het model met drie depots en een shortage kost van 12 per eenheid. De hypothesen die worden toegepast zien er als volgt uit;

Hypothesen opgesteld om de voorraadkosten te analyseren:

$$H_0 : \overline{Voorraadkosten}_{Geen Pooling} - \overline{Voorraadkosten}_{Transshipments} = 0$$

$$H_a : \overline{Voorraadkosten}_{Geen Pooling} - \overline{Voorraadkosten}_{Transshipments} \neq 0$$

Hypothesen opgesteld om de transportkosten te analyseren:

$$H_0 : \overline{Transportkosten}_{Geen Pooling} - \overline{Transportkosten}_{Transshipments} = 0$$

$$H_a : \overline{Transportkosten}_{Geen Pooling} - \overline{Transportkosten}_{Transshipments} \neq 0$$

Hypothesen opgesteld om de e-fulfilment kosten te analyseren:

$$H_0 : \overline{e - fulfilment Kosten}_{Geen Pooling} - \overline{e - fulfilment Kosten}_{Transshipments} = 0$$

$$H_a : \overline{e - fulfilment Kosten}_{Geen Pooling} - \overline{e - fulfilment Kosten}_{Transshipments} \neq 0$$

De resultaten van de two-tailed gepaarde t-testen kunnen worden weergegeven in tabel 10, 11 en 12.

# Depots	Type Shortage Kost per Eenheid	Gemiddelde Verschil Tussen Beide Kosten	P-Waarde	Verwerp of Accepteer H ₀
2	6	20.97	0.000**	Verwerp
2	12	41.55	0.000**	Verwerp
3	6	58.66	0.000**	Verwerp
3	12	92.06	0.000**	Verwerp

Tabel 10: Vergelijken voorraadkosten alle modellen zonder een poolingsysteem met alle modellen die een poolingsysteem toepassen aan de hand van reactieve transshipments via two-tailed gepaarde t-testen (** = p-waarde is significant op een 1% significantieniveau)

Tabel 10 toont aan dat voor ieder model de gemiddelde voorraadkosten van het systeem waarbij geen pooling wordt toegepast significant groter zijn dan de gemiddelde voorraadkosten van het systeem waarbij transshipments worden toegepast op een 1% significantieniveau. Dit wil zeggen dat de

nulhypothese kan verworpen worden op een 1% significantieniveau. Verder valt op dat de gemiddelde verschillen tussen beide systemen toenemen naarmate een depot wordt toegevoegd en naarmate de shortage kost per eenheid wordt verhoogd.

# Depots	Type Shortage Kost per Eenheid	Gemiddelde Verschil Tussen Beide Kosten	P-Waarde	Verwerp of Accepteer H_0
2	6	-7.476	0.005**	Verwerp
2	12	-5.503	0.015*	Verwerp
3	6	-15.534	0.000**	Verwerp
3	12	-11.83	0.000**	Verwerp

Tabel 11: Vergelijken transportkosten alle modellen zonder een poolingsysteem met alle modellen die een poolingsysteem toepassen aan de hand van reactieve transshipments via two-tailed gepaarde t-testen (* = p-waarde is significant op een 5% significantieniveau, ** = p-waarde is significant op een 1% significantieniveau)

Tabel 11 geeft weer dat voor ieder model de gemiddelde transportkosten van het systeem waarbij geen pooling wordt toegepast significant kleiner zijn dan de gemiddelde transportkosten van het systeem waarbij transshipments worden toegepast op een 5% significantieniveau. Dit wil zeggen dat de nulhypothese kan verworpen worden op een 5% significantieniveau. Voor de modellen met twee depots en een shortage kost per eenheid van 6, drie depots en een shortage kost per eenheid van 6 en 12 kan de nulhypothese verworpen worden op een 1% significantieniveau. Verder valt op dat de gemiddelde verschillen tussen beide systemen toenemen naarmate een depot wordt toegevoegd en afnemen naarmate de shortage kost per eenheid stijgt.

# Depots	Type Shortage Kost per Eenheid	Gemiddelde Verschil Tussen Beide Kosten	P-Waarde	Verwerp of Accepteer H_0
2	6	13.494	0.000**	Verwerp
2	12	36.047	0.000**	Verwerp
3	6	43.126	0.000**	Verwerp
3	12	80.23	0.000**	Verwerp

Tabel 12: Vergelijken e-fulfilment kosten alle modellen zonder een poolingsysteem met alle modellen die een poolingsysteem toepassen aan de hand van reactieve transshipments via two-tailed gepaarde t-testen (** = p-waarde is significant op een 1% significantieniveau)

Uit Tabel 12 kan afgeleid worden dat voor ieder model de gemiddelde e-fulfilment kosten van het systeem waarbij geen pooling wordt toegepast significant groter zijn dan de gemiddelde e-fulfilment kosten van het systeem waarbij transshipments worden toegepast op een 1% significantieniveau. Dit wil zeggen dat de nulhypothese kan verworpen worden op een 1% significantieniveau. Verder valt op

dat de gemiddelde verschillen tussen beide systemen toenemen naarmate een depot wordt toegevoegd en naarmate de shortage kost per eenheid wordt verhoogd.

4.2.2 Vergelijking Geen Pooling VS Distribution Sharing

De vergelijking tussen het systeem dat geen pooling toepast en het systeem dat pooling toepast aan de hand van distribution sharing wordt uitgevoerd door gebruik te maken van two-tailed gepaarde t-testen. Deze t-testen worden uitgevoerd op de gemiddelde voorraadkosten, transportkosten en e-fulfilment kosten. Hierbij worden de gemiddelde kosten van het poolingsysteem aan de hand van distribution sharing afgetrokken van de gemiddelde kosten van het systeem zonder pooling. Vier modellen worden met elkaar vergeleken, namelijk het model met twee depots en een shortage kost van 6 per eenheid, het model met twee depots en een shortage kost van 12 per eenheid, het model met drie depots en een shortage kost van 6 per eenheid en het model met drie depots en een shortage kost van 12 per eenheid. De hypothesen die worden toegepast zien er als volgt uit;

Hypothesen opgesteld om de voorraadkosten te analyseren:

$$H_0 : \overline{Voorraadkosten}_{Geen Pooling} - \overline{Voorraadkosten}_{Distribution Sharing} = 0$$

$$H_a : \overline{Voorraadkosten}_{Geen Pooling} - \overline{Voorraadkosten}_{Distribution Sharing} \neq 0$$

Hypothesen opgesteld om de transportkosten te analyseren:

$$H_0 : \overline{Transportkosten}_{Geen Pooling} - \overline{Transportkosten}_{Distribution Sharing} = 0$$

$$H_a : \overline{Transportkosten}_{Geen Pooling} - \overline{Transportkosten}_{Distribution Sharing} \neq 0$$

Hypothesen opgesteld om de e-fulfilment kosten te analyseren:

$$H_0 : \overline{e - fulfilment Kosten}_{Geen Pooling} - \overline{e - fulfilment Kosten}_{Distribution Sharing} = 0$$

$$H_a : \overline{e - fulfilment Kosten}_{Geen Pooling} - \overline{e - fulfilment Kosten}_{Distribution Sharing} \neq 0$$

De resultaten van de two-tailed gepaarde t-testen kunnen worden weergegeven in tabel 13, 14 en 15.

# Depots	Type Shortage Kost per Eenheid	Gemiddelde Verschil Tussen Beide Kosten	P-Waarde	Verwerp of Accepteer H ₀
2	6	20.97	0.000**	Verwerp
2	12	41.55	0.000**	Verwerp
3	6	58.66	0.000**	Verwerp
3	12	92.06	0.000**	Verwerp

Tabel 13: Vergelijken voorraadkosten alle modellen zonder een poolingsysteem met alle modellen die een poolingsysteem toepassen aan de hand van distribution sharing via two-tailed gepaarde t-testen

(** = p-waarde is significant op een 1% significantieniveau)

Tabel 13 geeft weer dat voor ieder model de gemiddelde voorraadkost van een systeem dat geen pooling toepast significant groter is dan de gemiddelde voorraadkost van een systeem dat pooling toepast aan de hand van distribution sharing op een 1% significantieniveau. Dit betekent dat de nulhypothese kan verworpen worden op een 1% significantieniveau. Hiernaast valt op dat het gemiddelde verschil tussen beide kosten toeneemt naarmate de shortage kost per eenheid toeneemt en het aantal distributiecentra toeneemt.

# Depots	Type Shortage Kost per Eenheid	Gemiddelde Verschil Tussen Beide Kosten	P-Waarde	Verwerp of Accepteer H ₀
2	6	-4.788	0.000**	Verwerp
2	12	-3.48	0.000**	Verwerp
3	6	-5.984	0.008**	Verwerp
3	12	-3.776	0.019*	Verwerp

Tabel 14: Vergelijken transportkosten alle modellen zonder een poolingsysteem met alle modellen die een poolingsysteem toepassen aan de hand van distribution sharing via two-tailed gepaarde t-testen (* = p-waarde is significant op een 5% significantieniveau, ** = p-waarde is significant op een 1% significantieniveau)

Na het bestuderen van tabel 14 kan gesteld worden dat voor ieder model de gemiddelde transportkosten van een systeem zonder pooling significant kleiner zijn dan de gemiddelde transportkosten van een systeem met pooling aan de hand van distribution sharing op een 1% significantieniveau. Echter voor het model met drie distributiecentra en een shortage kost per eenheid van 12 is de gemiddelde transportkost voor een systeem zonder pooling significant kleiner dan de gemiddelde transportkost voor een systeem met pooling aan de hand van distribution sharing op een 5% significantieniveau.

# Depots	Type Shortage Kost per Eenheid	Gemiddelde Verschil Tussen Beide Kosten	P-Waarde	Verwerp of Accepteer H ₀
2	6	16.182	0.000**	Verwerp
2	12	38.07	0.000**	Verwerp
3	6	52.676	0.000**	Verwerp
3	12	88.284	0.000**	Verwerp

Tabel 15: Vergelijken e-fulfilment kosten alle modellen zonder een poolingsysteem met alle modellen die een poolingsysteem toepassen aan de hand van distribution sharing via two-tailed gepaarde t-testen (** = p-waarde is significant op een 1% significantieniveau)

Voor ieder model binnen tabel 15 zijn de gemiddelde e-fulfilment kosten van een systeem waarbij geen pooling wordt toegepast significant groter dan de gemiddelde e-fulfilment kosten van een systeem waarbij pooling wordt toegepast aan de hand van distribution sharing op een 1% significantieniveau. Dit betekent dat de nulhypothese wordt verworpen op een 1% significantieniveau. Verder valt op dat

de gemiddelde verschillen tussen beide systemen toenemen naarmate een depot wordt toegevoegd en naarmate de shortage kost per eenheid wordt verhoogd.

4.2.3 Vergelijking Reactieve Transshipments VS Distribution Sharing

De vergelijking tussen het systeem dat pooling toepast aan de hand van reactieve transshipments en het systeem dat pooling toepast aan de hand van distribution sharing wordt uitgevoerd door gebruik te maken van two-tailed gepaarde t-testen. Deze t-testen worden uitgevoerd op de gemiddelde voorraadkosten, transportkosten en e-fulfilment kosten. Hierbij worden de gemiddelde kosten van het poolingsysteem aan de hand van distribution sharing afgetrokken van de gemiddelde kosten van het poolingsysteem aan de hand van reactieve transshipments. Vier modellen worden met elkaar vergeleken, namelijk het model met twee depots en een shortage kost van 6 per eenheid, het model met twee depots en een shortage kost van 12 per eenheid, het model met drie depots en een shortage kost van 6 per eenheid en het model met drie depots en een shortage kost van 12 per eenheid. De hypothesen die worden toegepast zien er als volgt uit;

Hypothesen opgesteld om de voorraadkosten te analyseren:

$$H_0 : \overline{Voorraadkosten}_{Transshipments} - \overline{Voorraadkosten}_{Distribution\ Sharing} = 0$$

$$H_a : \overline{Voorraadkosten}_{Transshipments} - \overline{Voorraadkosten}_{Distribution\ Sharing} \neq 0$$

Hypothesen opgesteld om de transportkosten te analyseren:

$$H_0 : \overline{Transportkosten}_{Transshipments} - \overline{Transportkosten}_{Distribution\ Sharing} = 0$$

$$H_a : \overline{Transportkosten}_{Transshipments} - \overline{Transportkosten}_{Distribution\ Sharing} \neq 0$$

Hypothesen opgesteld om de e-fulfilment kosten te analyseren:

$$H_0 : \overline{e - fulfilment\ Kosten}_{Transshipments} - \overline{e - fulfilment\ Kosten}_{Distribution\ Sharing} = 0$$

$$H_a : \overline{e - fulfilment\ Kosten}_{Transshipments} - \overline{e - fulfilment\ Kosten}_{Distribution\ Sharing} \neq 0$$

De resultaten van de two-tailed gepaarde t-testen kunnen worden weergegeven in tabel 16, 17 en 18.

# Depots	Type Shortage Kost per Eenheid	Gemiddelde Verschil Tussen Beide Kosten	P-Waarde	Verwerp of Accepteer H_0
2	6	0	1	Accepteer
2	12	0	1	Accepteer
3	6	0	1	Accepteer
3	12	0	1	Accepteer

Tabel 16: Vergelijken voorraadkosten alle modellen die een poolingsysteem toepassen aan de hand van reactieve transshipments met alle modellen die een poolingsysteem toepassen aan de hand van distribution sharing via two-tailed gepaarde t-testen

Uit tabel 16 van deze masterproef kan worden afgeleid dat voor ieder model van beide systemen de nulhypothese kan worden geaccepteerd op een 1%, 5% en zelfs een 10% significantieniveau. Dit wil zeggen dat de gemiddelde voorraadkosten van beide poolingsystemen niet significant verschillend zijn van elkaar. Hiernaast valt op dat de gemiddelde verschillen van alle modellen gelijk zijn aan 0 en dat de p-waarde voor ieder model gelijk is aan 1.

# Depots	Type Shortage Kost per Eenheid	Gemiddelde Verschil Tussen Beide Kosten	P-Waarde	Verwerp of Accepteer H_0
2	6	2.688	0.141	Accepteer
2	12	2.023	0.182	Accepteer
3	6	9.55	0.001**	Verwerp
3	12	8.054	0.001**	Verwerp

Tabel 17: Vergelijken transportkosten alle modellen die een poolingsysteem toepassen aan de hand van reactieve transshipments met alle modellen die een poolingsysteem toepassen aan de hand van distribution sharing via two-tailed gepaarde t-testen (** = p-waarde is significant op een 1% significantieniveau)

Tabel 17 geeft weer dat voor de twee modellen waarbij twee depots werden onderzocht, de nulhypothese geaccepteerd wordt op een 1%, 5% en zelfs een 10% significantieniveau. Dit wil zeggen dat er geen significante verschillen zijn tussen de gemiddelde transportkosten van een systeem dat gebruikt maakt van reactieve transshipments en de gemiddelde transportkosten van een systeem dat gebruik maakt van distribution sharing. Echter kan de nulhypothese van de modellen waarbij drie depots worden onderzocht wel verworpen worden op een 1% significantieniveau. Hieruit volgt dat de gemiddelde transportkosten van een systeem met reactieve transshipments significant groter zijn dan de gemiddelde transportkosten van een systeem dat gebruik maakt van distribution sharing. Hetgeen wat opmerkelijk is, is het feit dat de gemiddelde verschillen afnemen naarmate de shortage kost per eenheid toeneemt en dat de gemiddelde verschillen toenemen naarmate het aantal distributiecentra toenemen.

# Depots	Type Shortage Kost per Eenheid	Gemiddelde Verschil Tussen Beide Kosten	P-Waarde	Verwerp of Accepteer H_0
2	6	2.688	0.141	Accepteer
2	12	2.023	0.182	Accepteer
3	6	9.55	0.001**	Verwerp
3	12	8.054	0.001**	Verwerp

Tabel 18: Vergelijken e-fulfilment kosten alle modellen die een poolingsysteem toepassen aan de hand van reactieve transshipments met alle modellen die een poolingsysteem toepassen aan de hand van distribution sharing via two-tailed gepaarde t-testen (** = p-waarde is significant op een 1% significantieniveau)

Gelijkaardig aan tabel 17, kan zowel in tabel 18 afgelezen worden dat voor de modellen waarbij twee depots worden onderzocht de nulhypothese geaccepteerd kan worden op een 1%, 5% en een 10% significantieniveau. Het accepteren van de nulhypothese resulteert in het feit dat de gemiddelde e-fulfilment kosten van een systeem met reactieve transshipments niet significant verschillend zijn van de gemiddelde e-fulfilment kosten van een systeem dat gebruik maakt van distribution sharing. Hiernaast kan de nulhypothese wel verworpen worden voor de modellen die drie distributiecentra onderzoeken, ongeacht de grote van de shortage kost per eenheid op een 1% significantieniveau. Dit toont aan dat de gemiddelde e-fulfilment kosten van een systeem dat reactieve transshipments toepast groter zijn dan de gemiddelde e-fulfilment kosten van een systeem dat distribution sharing toepast. Verder valt op dat de gegevens van tabel 18 identiek zijn aan de gegevens van tabel 17.

5 DISCUSSIE

Binnen deze sectie van de masterproef worden de resultaten in sectie 4 verder besproken. De onderdelen die besproken worden zijn de resultaten van de optimale inventaris en de resultaten van de vergelijkingen tussen de verschillende systemen.

5.1 DISCUSSIE OPTIMALE INVENTARIS

De resultaten van de optimale inventarisniveaus werden uitvoerig besproken binnen sectie 4.1. Deze resultaten worden verder toegelicht binnen deze sectie van de masterproef.

Voordat de two-tailed one-sample t-testen werden uitgevoerd op de shortage kosten en de holdingkosten, werden eerst enkele vaststellingen gedaan op vlak van de optimale samenstelling van de voorraadniveaus. Deze vaststellingen werden gedaan door tabel 5 en 6 te analyseren. Een eerste vaststelling is de grootte van de order-up-to levels bij de twee verschillende pooling systemen. Deze voorraadniveaus zijn gelijk aan elkaar. Deze zijn gelijk aan elkaar omdat het gaat over symmetrische systemen. Doordat binnen deze masterproef symmetrische systemen worden behandeld, heeft ieder distributiecentrum dezelfde afstand van elkaar. Dit zorgt op zijn beurt ervoor dat het niet voordeliger is om één distributiecentrum meer voorraad te geven want ieder distributiecentrum bevindt zich even ver van elkaar. Deze notie wordt bevestigd door Robinson (1990). Hij doet onderzoek naar laterale transshipments en bekomt eenzelfde resultaat waarbij de voorraadniveaus in ieder distributiecentrum identiek zijn aan elkaar als het over een symmetrisch systeem gaat. Hiernaast valt op te merken dat in het onderzoek van Arnold (2018) de voorraadniveaus van een logistiek systeem dat transshipments toepast gelijk is aan de voorraadniveaus van een logistiek systeem dat distribution sharing toepast. Voor een asymmetrisch logistiek systeem met drie of meer distributiecentra moet het inventarisbeleid verder worden geoptimaliseerd. Vanwege asymmetrie zou het mogelijk kunnen zijn dat het globale order-up-to level beter verdeeld kan worden over de samenwerkende distributiecentra om de transportkosten te minimaliseren. Een tweede vaststelling is het feit dat de distributiecentra van een systeem dat geen pooling toepast relatief grote verschillen heeft in hun order-up-to levels. Deze verschillen ontstaan door de stochastische vraag van de distributiecentra. Deze verschillen zijn niet aanwezig bij beide poolingsystemen aangezien de distributiecentra daar gaan samenwerken. Een derde vaststelling is de stijging van de totale voorraadniveaus binnen het systeem dat geen pooling toepast wanneer de shortage kost per eenheid verdubbelt. Deze stijgingen zijn relatief klein in de systemen waarbij pooling wordt toegepast. Dit zou te maken kunnen hebben met het feit dat de distributiecentra in het systeem waarbij geen pooling wordt toegepast niet gaan samenwerken. Bij samenwerking kan de hoge vraag in het ene distributiecentrum soms gecompenseerd worden door lage vraag in een ander distributiecentrum. Hieruit volgt dat het globale voorraadniveau, wat de som is van de voorraadniveaus van alle distributiecentra in een periode, lager mag zijn om hetzelfde serviceniveau te behalen.

5.1.1 Discussie inventarismanagement met geen pooling

Aan de hand van de two-tailed one-sample t-testen kunnen enkele discussiepunten besproken worden over het inventarismanagement van het systeem waarbij geen pooling wordt toegepast. Een eerste discussiepunt is de shortage kost van ieder model waarvan de resultaten worden weergegeven in tabel 7. Voor het model met drie distributiecentra en een shortage kost per eenheid van 6 werd de nulhypothese verworpen en werd de gemiddelde shortage kost over 100 periodes niet vermeden op een 5% significantieniveau. Echter werd voor de overige modellen de nulhypothese geaccepteerd op een 5% significantieniveau en werd de gemiddelde shortage kost over 100 periodes wel vermeden. Dit wil zeggen dat een goede samenstelling van de voorraden in sommige instanties de shortage kosten kan vermijden. Een tweede discussiepunt is de gemiddelde holdingkost van het systeem zonder pooling. De gemiddelde holdingkost over 100 periodes was in ieder model significant verschillend van 0 op een 1% significantieniveau. Dit wil zeggen dat de gemiddelde holdingkosten over 100 periodes niet vermeden worden. Dit is een logisch resultaat, omwille van de shortage kost per eenheid. De shortage kost per eenheid is in ieder model veel groter dan de holding kost per eenheid die in ieder model gelijk is aan één. Doordat de shortage kost per eenheid groter is dan de holding kost per eenheid, focust de samenstelling van de voorraden zich op het verminderen van de tekorten. Hierdoor kunnen hogere holdingkosten ontstaan.

5.1.2 Discussie inventarismanagement met pooling aan de hand van reactieve transshipments

Aan de hand van de two-tailed one-sample t-testen kan het inventarismanagement van het systeem waarbij pooling aan de hand van reactieve transshipments wordt toegepast besproken worden. Hierbij valt op uit tabel 8 dat de gemiddelde shortage kost en de standaardafwijking van ieder model gelijk is aan 0. Dit wil zeggen dat de shortage kost binnen ieder model compleet wordt vermeden. Dit wil zeggen dat de shortage kosten in iedere periode gelijk zijn aan 0 binnen deze masterproef. Dit heeft deels te maken met de samenstelling van de order-up-to levels van het systeem waarbij pooling wordt toegepast aan de hand van reactieve transshipments. Moest er minder inventaris zijn in de distributiecentra, dan zouden de distributiecentra eventueel tekorten ondervinden wat nu niet het geval is. Naast de samenstelling van de order-up-to levels speelt de onderlinge samenwerking van de verschillende distributiecentra een grote rol in het vermijden van de shortage kosten. Als een distributiecentrum grote overschotten heeft aan voorraden en een distributiecentrum heeft tekorten dan kunnen deze gedeeld worden waardoor tekorten binnen dit onderzoek nooit meer plaatsvinden. Wat betreft de gemiddelde holdingkosten valt op dat deze significant verschillend zijn van 0 op een 1% significantieniveau. Dit wil zeggen dat de gemiddelde holdingkosten over de 100 periodes niet vermeden worden en dat deze grotendeels aanwezig zijn in iedere periode voor het gehele systeem. De reden hiervan heeft te maken met de hoge shortage kosten per eenheid in vergelijking met de holding kost per eenheid. Hierdoor wordt iets meer inventaris bijgehouden wat tot hogere overschotten kan leiden.

5.1.3 Discussie inventarismanagement met pooling aan de hand van distribution sharing

Aan de hand van de two-tailed one-sample t-testen kunnen enkele discussiepunten besproken worden over het inventarismanagement van een systeem waarbij pooling aan de hand van distribution sharing wordt toegepast. Hierbij valt op uit tabel 9 dat de gemiddelde shortage kost en de standaardafwijking van ieder model gelijk is aan 0. Dit wil zeggen dat de shortage kost binnen ieder model compleet wordt vermeden. Dit wil zeggen dat de shortage kosten in iedere periode gelijk zijn aan 0. Dit heeft deels te maken met de samenstelling van de order-up-to levels van het systeem waarbij pooling wordt toegepast aan de hand van distribution sharing. Moest er minder inventaris zijn in de distributiecentra, dan zouden deze eventueel tekorten ondervinden wat nu niet het geval is. Naast de samenstelling van de order-up-to levels speelt de onderlinge samenwerking van de verschillende distributiecentra een grote rol in het vermijden van de shortage kosten. Als een distributiecentrum grote overschotten heeft aan voorraden en een distributiecentrum heeft tekorten dan kunnen de klanten herverdeeld worden tussen de distributiecentra waardoor tekorten binnen dit onderzoek nooit meer plaatsvinden. Wat betreft de gemiddelde holdingkosten valt op dat deze significant verschillend zijn van 0 op een 1% significantieniveau. Dit wil zeggen dat de gemiddelde holdingkosten over de 100 periodes niet geëlimineerd worden en dat deze grotendeels aanwezig zijn in iedere periode voor het gehele systeem. De reden hiervan heeft te maken met de hoge shortage kosten per eenheid in vergelijking met de holding kost per eenheid. Hierdoor wordt iets meer inventaris bijgehouden wat tot hogere overschotten kan leiden. In de resultaten werd een opmerking geplaatst waarbij opviel dat tabel 8 en tabel 9 dezelfde waarden bevatten. Dit discussiepunt wordt verder besproken in sectie 5.2.3 aangezien daar de voorraadkosten van beide poolingsystemen worden vergeleken.

5.2 DISCUSSIE OPTIMALE SYSTEMEN

Binnen deze sectie worden de resultaten van sectie 4.2 over het vergelijken van de logistieke systemen met elkaar verder besproken om verdere inzichten te bekomen.

5.2.1 Discussie Geen Pooling VS Reactieve Transshipments

Binnen de resultaten werd het systeem waarbij geen pooling wordt toegepast vergeleken met het systeem waarbij pooling wordt toegepast aan de hand van reactieve transshipments. Hierbij werden de gemiddelde voorraadkosten (som van shortage en holding kost), transportkosten en e-fulfilment kosten (som van voorraadkosten en transportkosten) vergeleken door gepaarde t-testen uit te voeren.

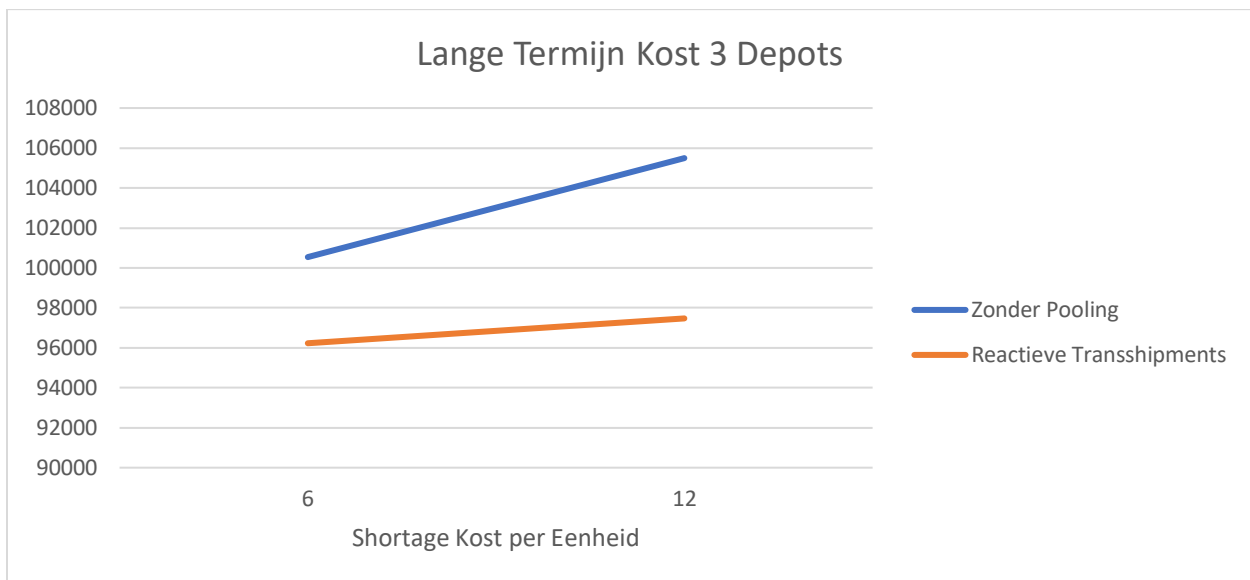
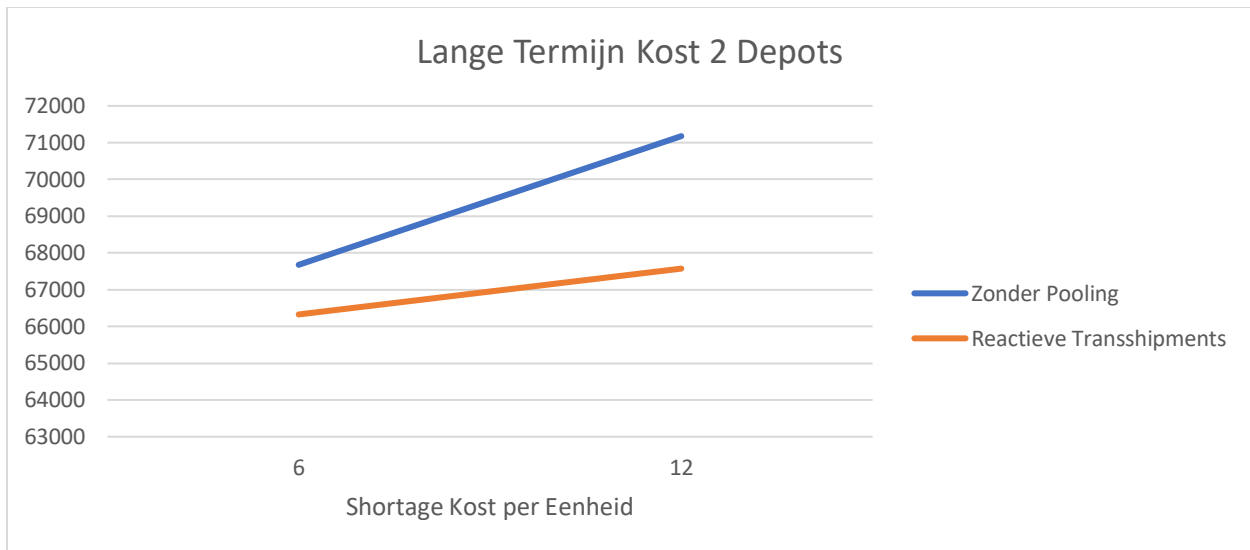
Eerst werden de gepaarde t-testen gebruikt bij het vergelijken van de gemiddelde voorraadkosten van ieder model in ieder systeem voor 100 periodes. De resultaten hiervan zijn te zien in tabel 10. Deze gemiddelde voorraadkosten zijn positief voor ieder model en bevatten een p-waarde die kleiner is dan 1%. Hieruit blijkt dat iedere nulhypothese van ieder model kan verworpen worden op een 1% significantieniveau. Dit wil zeggen dat de gemiddelde voorraadkosten van een systeem waarbij geen pooling wordt toegepast significant groter is dan de gemiddelde voorraadkosten van een systeem

waarbij pooling wordt toegepast aan de hand van reactieve transshipments. Dit wijst erop dat het toepassen van reactieve transshipments ervoor kan zorgen dat de gemiddelde voorraadkosten dalen. Dat is een logische veronderstelling aangezien reactieve transshipments ervoor zorgen dat tekorten worden weggewerkt en dit door de overschotten gelijktijdig weg te werken. Hierdoor verminderen de shortage kosten en de holdingkosten. Als geen pooling wordt toegepast, worden tekorten verrekend als shortage kosten en worden overschotten bijgehouden die tot hogere holdingkosten leiden. Het toepassen van reactieve transshipments is zodus efficiënter voor het voorraadbeheer. Verder viel op dat het gemiddelde verschil in voorraadkosten toeneemt naarmate een depot wordt toegevoegd en naarmate de shortage kost per eenheid toeneemt. Deze stijgingen hebben te maken met de inefficiëntie van het voorraadbeheer binnen het systeem waarbij geen pooling wordt toegepast. Een systeem waarbij geen pooling wordt toegepast houdt meer overbodige voorraad bij naarmate de shortage kost per eenheid toeneemt. Dit zorgt op zijn beurt voor nog meer overschotten waardoor de voorraadkosten toenemen. Hiernaast zorgt het toevoegen van een extra depot ervoor dat het logistiek systeem complexer wordt wat een negatieve invloed heeft op het inventarismanagement. Door een extra distributiecentrum toe te voegen ontstaat er weer een distributiecentrum die tekorten en overschotten kan ondervinden, wat een kostendruk kan geven op het logistiek systeem. Een systeem dat pooling toepast aan de hand van reactieve transshipments houdt minder inventaris bij en voert transshipments zodat de voorraadkosten kunnen afnemen binnen het gehele systeem.

Als tweede werden de gemiddelde transportkosten vergeleken aan de hand van gepaarde t-testen. De resultaten hiervan zijn te zien in tabel 11. Deze resultaten bevatten binnen ieder model een gemiddeld negatief verschil wat erop duidt dat de gemiddelde transportkosten van het systeem waarbij geen pooling wordt toegepast over de gehele lijn lagere gemiddelde transportkosten bevat dan het systeem dat pooling toepast aan de hand van reactieve transshipments. Uit tabel 11 blijkt dat de nulhypothese voor ieder model kan verworpen worden op een 1% significantieniveau en dat de nulhypothese voor het model dat twee depots bevat en een shortage kost per eenheid van 12 heeft kan verworpen worden op een significantieniveau van 5%. Hieruit kan bevestigd worden dat het systeem waarbij geen pooling wordt toegepast een significant lagere gemiddelde transportkost bevat dan het systeem waarbij pooling wordt toegepast aan de hand van reactieve transshipments. De mogelijke redenen waarom het systeem zonder pooling een significant lagere transportkost heeft dan het systeem met reactieve transshipments is als volgt. In eerste instantie is het mogelijk dat het systeem dat pooling toepast aan de hand van transshipments meer klanten beleverd dan het systeem waarbij geen pooling wordt toegepast. Binnen het systeem zonder pooling worden klanten die niet worden beleverd gezien als een verloren klant vanwege het lost sales principe. Doordat in sommige gevallen meer klanten beleverd worden in het systeem met reactieve transshipments, moeten de voertuigen in sommige gevallen een langere afstand afleggen wat kan leiden tot hogere transportkosten. In tweede instantie zorgt het uitvoeren van een transshipment ervoor dat een transshipmentkost in rekening wordt gebracht. Deze transshipment kost bedraagt 80 per uitgevoerde transshipment en wordt verrekend binnen de transportkosten. Hierdoor kunnen de transportkosten vergroten binnen het systeem waarbij transshipments worden uitgevoerd. In derde instantie kan een case worden gemaakt voor verschillende gaps in het berekenen van de

rittenplanning door de Gurobi/Gurobipy software. Doordat het systeem dat gebruik maakt van pooling aan de hand van transshipments in sommige instanties meer klanten belevt, is het mogelijk dat het leveringsproces van de distributiecentra binnen sommige instanties complexer is. Deze complexiteit, gepaard met de vijf minuten om de rittenplanning te berekenen kan zorgen voor slechtere oplossingen en op zijn beurt voor hogere gaps. Dit wordt verder verklaard binnen sectie 7 en geldt voor iedere vergelijking.

Tot slot werden de gemiddelde e-fulfilment kosten vergeleken over 100 periodes aan de hand van gepaarde t-testen. De resultaten hiervan zijn te zien in tabel 11. Deze resultaten bevatten voor ieder model een positief gemiddelde e-fulfilment kost met een p-waarde die kleiner is dan 1%. Hieruit kan worden afgeleid dat de nulhypothese voor ieder model kan verworpen worden op een 1% significantieniveau. Dit wil zeggen dat de gemiddelde e-fulfilment kosten voor een systeem met pooling aan de hand van reactieve transshipments significant kleiner is dan de gemiddelde e-fulfilment kosten voor een systeem zonder pooling. Hiernaast zorgt het poolingsysteem met reactieve transshipments ervoor dat meer klanten beleverd kunnen worden. Dit wil zeggen dat het systeem waarbij pooling wordt toegepast aan de hand van reactieve transshipments een beter systeem is dan het systeem waarbij geen pooling wordt toegepast. Om het presteren van beide systemen weer te geven wordt figuur 8 opgesteld. Hierin worden de e-fulfilment kosten van ieder systeem over 100 periodes met elkaar opgeteld tot een lange termijn kost en worden de lange termijnkosten vergeleken. Hieruit valt af te leiden dat het systeem dat reactieve transshipments toepast altijd een lagere kost bevat.



Figuur 8: Vergelijking lange termijn kost van het systeem zonder pooling met het systeem dat reactieve transshipments toepast voor twee depots en drie depots apart

5.2.2 Discussie Geen Pooling VS Distribution Sharing

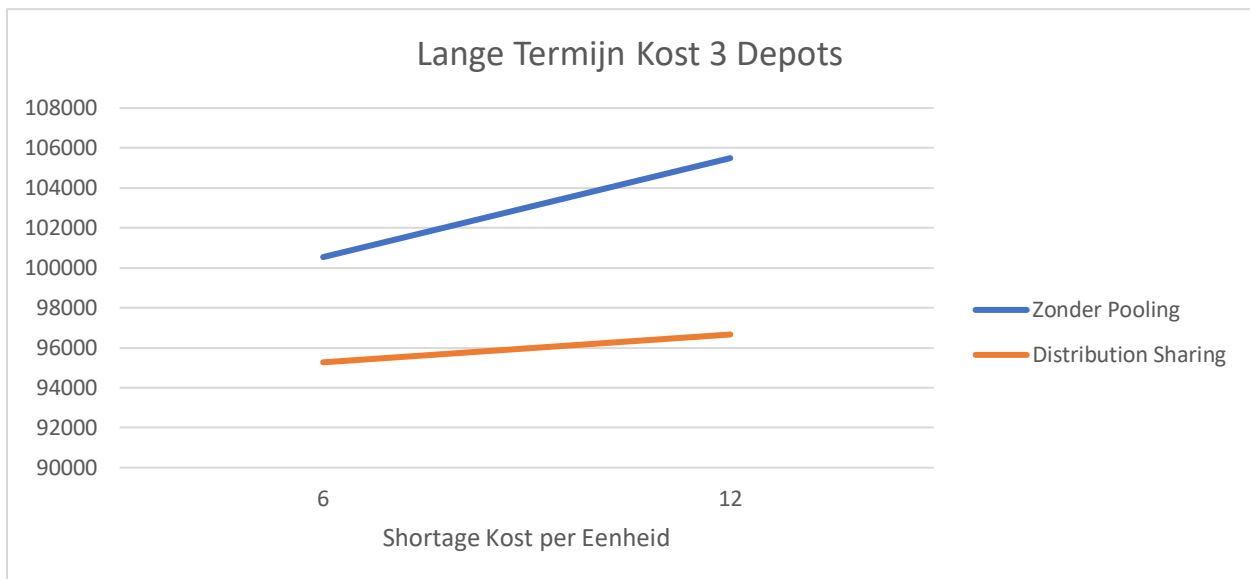
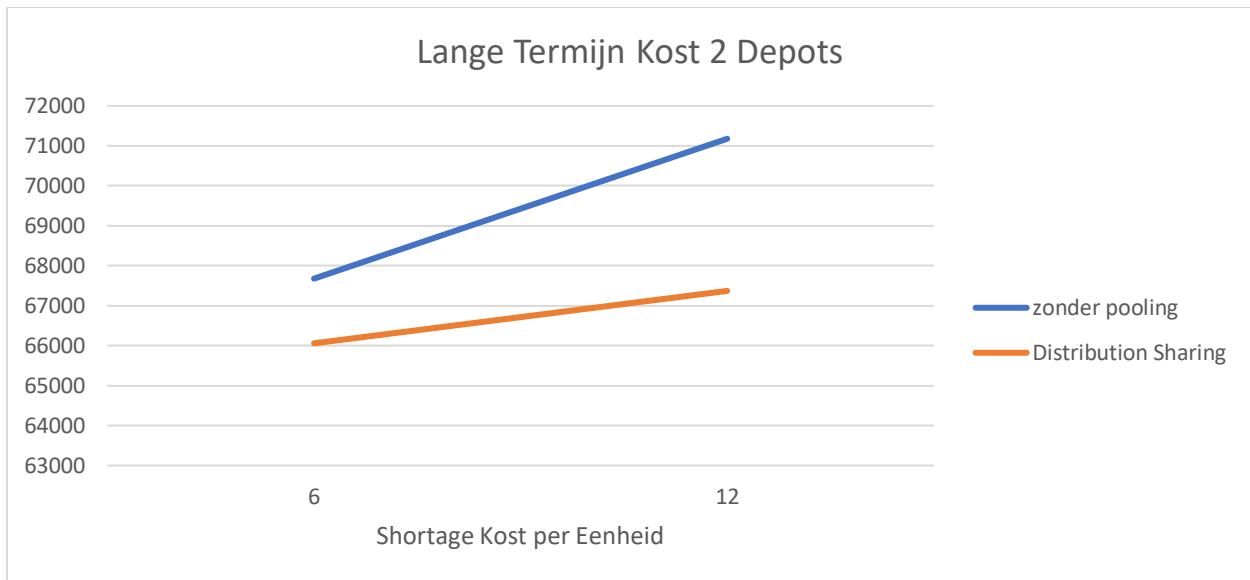
Binnen de resultaten werd het systeem waarbij geen pooling wordt toegepast vergeleken met het systeem waarbij pooling wordt toegepast aan de hand van distribution sharing. Hierbij werden de gemiddelde voorraadkosten, transportkosten en e-fulfilment kosten vergeleken door gepaarde t-testen uit te voeren.

Eerst werden de gemiddelde voorraadkosten van het systeem waarbij geen pooling wordt toegepast vergeleken met de gemiddelde voorraadkosten van het systeem waarbij pooling wordt toegepast aan de hand van distribution sharing aan de hand van gepaarde t-testen. Hierbij werden vier modellen getest

waarvan ieder model een logistiek systeem van 100 periodes voorstelde. Uit de resultaten bleek dat voor ieder model de gemiddelde voorraadkosten van het systeem zonder pooling significant groter was dan de gemiddelde voorraadkosten van het systeem waarbij pooling werd toegepast aan de hand van distribution sharing. Dit betekent dat het toepassen van distribution sharing ervoor kan zorgen dat de gemiddelde voorraadkosten dalen. Dat is een logische veronderstelling aangezien distribution sharing ervoor zorgt dat tekorten worden weggewerkt door de klanten van de distributiecentra met tekorten te herverdelen over de distributiecentra met overschotten. Hierdoor verminderen de shortage kosten van de distributiecentra met tekorten en dalen de holdingkosten van de distributiecentra met overschotten. Als geen pooling wordt toegepast, worden tekorten verrekend als shortage kosten en worden overschotten bijgehouden die tot hogere holdingkosten leiden. Het toepassen van distribution sharing is zodus efficiënter voor het voorraadbeheer.

Als tweede werden de gemiddelde transportkosten voor ieder model vergeleken met behulp van de gepaarde t-testen over 100 periodes. Hieruit bleek dat de gemiddelde transportkosten van een systeem waarbij geen pooling wordt toegepast significant kleiner is dan de gemiddelde transportkosten van een systeem waarbij pooling wordt toegepast aan de hand van distribution sharing. Dit toont aan dat een systeem dat geen pooling gebruikt mindertransportkosten heeft dan een systeem dat distribution sharing toepast. Hiervoor kunnen twee redenen geïdentificeerd worden. In eerste instantie worden in het poolingsysteem meer klanten voldaan dan in het geen pooling systeem. Dit heeft te maken met het feit dat sommige klanten in het systeem zonder pooling niet werden beleverd omwille van het lost sales principe. Binnen het poolingsysteem aan de hand van distribution sharing werden alle klanten voldaan waardoor alle klanten moesten beleverd worden. In tweede instantie kan een case worden gemaakt voor verschillende gaps in het berekenen van de rittenplanning door de Gurobi/Gurobipy software. Doordat het systeem dat gebruik maakt van pooling in sommige periodes meer klanten belevt, is het mogelijk dat het leveringsproces van de distributiecentra binnen sommige periodes complexer is. Deze complexiteit, gepaard met de vijf minuten om de rittenplanning te berekenen kan zorgen voor slechtere oplossingen en op zijn beurt voor hogere gaps.

Tot slot werden de gemiddelde e-fulfilment kosten over 100 periodes van ieder model vergeleken aan de hand van gepaarde t-testen. Uit de resultaten blijkt dat het systeem dat distribution sharing toepast binnen ieder model een significant lagere gemiddelde e-fulfilment kost bevat in vergelijking met het systeem dat geen pooling toepast. Dit wil zeggen dat het gebruik maken van distribution sharing ervoor zorgt dat de gemiddelde e-fulfilment kosten lager zijn en er worden meer klanten beleverd dan binnen het systeem waar geen pooling wordt gebruikt. Het systeem met distribution sharing is dus een beter systeem dan het systeem zonder pooling. In figuur 9 wordt dit nogmaals gevisualiseerd.



Figuur 9: Vergelijking lange termijn kost van het systeem zonder pooling met het systeem dat distribution sharing toepast voor twee depots en drie depots apart

5.2.3 Discussie Reactieve Transshipments VS Distribution Sharing

Binnen de resultaten werd het systeem waarbij pooling wordt toegepast aan de hand van reactieve transshipments vergeleken met het systeem waarbij pooling wordt toegepast aan de hand van distribution sharing. Hierbij werden de gemiddelde voorraadkosten, transportkosten en e-fulfilment kosten vergeleken door gepaarde t-testen uit te voeren.

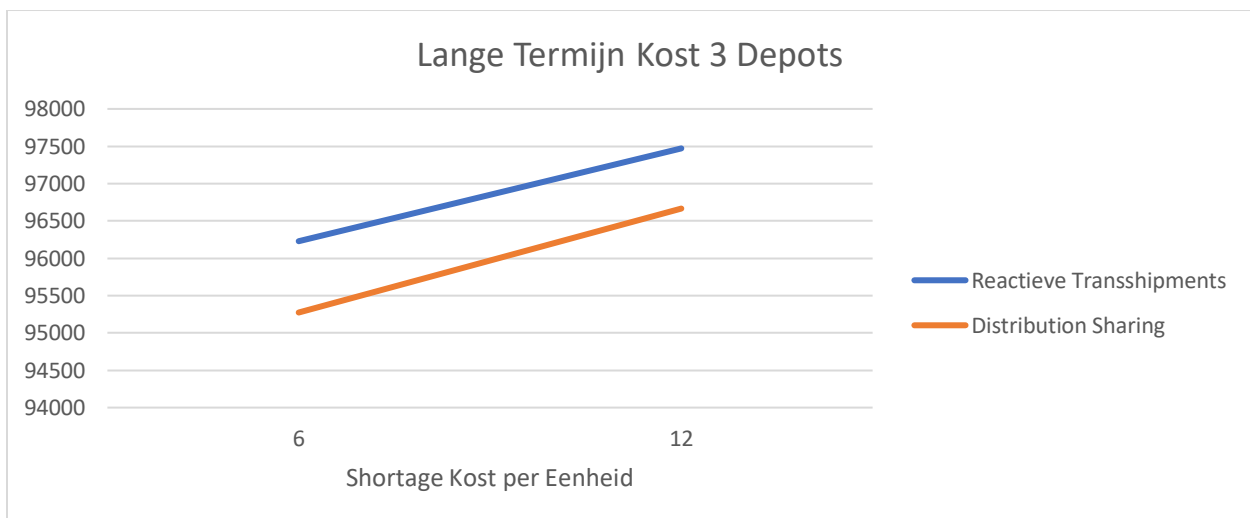
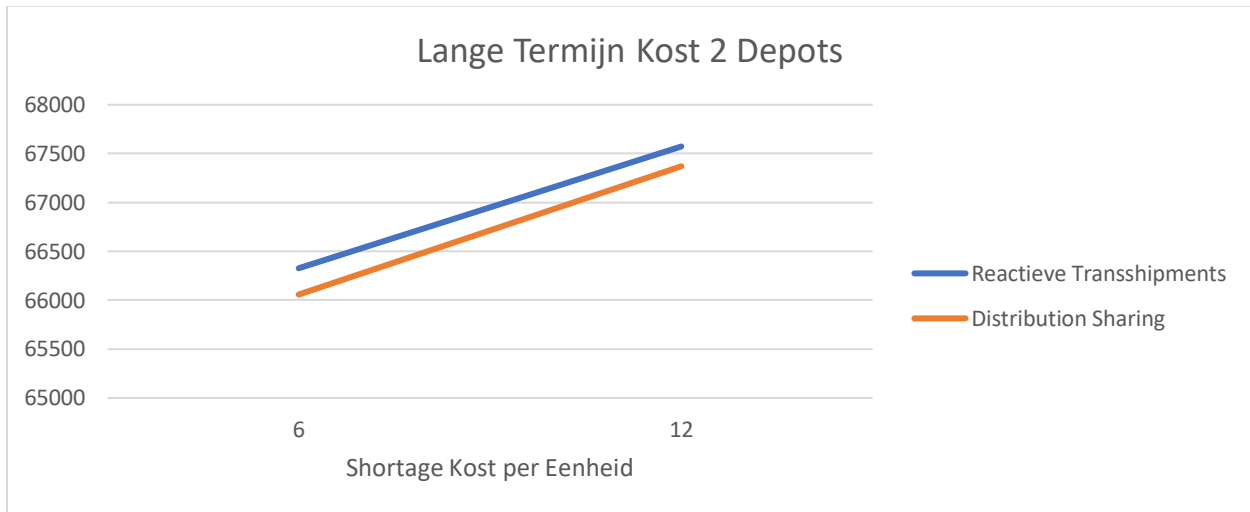
Als eerste werden de gemiddelde voorraadkosten van alle modellen, die 100 periodes bevatten, vergeleken aan de hand van gepaarde t-testen. Hieruit bleek dat voor ieder model de nulhypothese werd geaccepteerd op zowel een 1%, 5% als een 10% significantieniveau. Dit wil zeggen dat voor ieder

model er geen significant verschil is tussen de gemiddelde voorraadkosten tussen beide systemen. Het meest opmerkelijke aan tabel 16 is echter dat het gemiddelde verschil binnen ieder model tussen beide poolingsystemen gelijk is aan 0. Dit wil zeggen dat voorraadkosten voor ieder model van beide systemen identiek zijn. Dit is logisch aangezien beide systemen ervoor zorgen dat alle tekorten worden geëlimineerd en overblijven met identieke holdingkosten die anders zijn verdeeld over de verschillende distributiecentra. Er is dus geen verschil op vlak van gemiddelde voorraadkosten tussen beide poolingsystemen.

Als tweede worden de gemiddelde transportkosten over 100 periodes vergeleken van ieder model door gebruik te maken van gepaarde t-testen. Uit de resultaten van deze vergelijking kan worden afgeleid dat voor beide modellen waarbij twee distributiecentra werden onderzocht er geen significant verschil is tussen de gemiddelde transportkosten. Voor de twee modellen waarbij drie distributiecentra werden onderzocht zijn de gemiddelde transportkosten van een systeem met reactieve transshipments significant groter dan de gemiddelde transportkosten van een systeem met distribution sharing. Dit geeft aan dat een systeem met distribution sharing een gemiddeld lagere transportatiekost heeft als een detailhandelaar meer dan twee distributiecentra bevat. Een reden hiervoor is het feit dat als meer dan twee distributiecentra deelnemen aan het logistiek systeem, er in sommige periodes meer dan één transshipment moet worden uitgevoerd. Doordat meerdere transshipments moeten worden uitgevoerd, worden meerdere transshipmentkosten aangerekend wat tot hoge transportkosten kan leiden. Dit in tegenstelling tot het distribution sharing systeem wat orders herverdeeld over de distributiecentra waardoor sommige klanten direct kunnen geleverd worden door de distributiecentra zonder een transshipment uit te voeren. Een tweede reden kan te maken hebben met het feit dat er overlappingsen zijn van de servicegebieden in de systemen waarbij drie depots worden onderzocht. Door deze overlappingsen kunnen tijdens de herverdelingen de klanten beter verdeeld worden over de depots. Men kan dus stellen dat er geen significant verschil is tussen de gemiddelde transportkosten wanneer slechts twee distributiecentra aanwezig zijn. Wanneer drie distributiecentra aanwezig zijn, dan beschikt het systeem dat gebruik maakt van distribution sharing over de laagste gemiddelde transportkosten. Hiernaast valt op dat het gemiddelde verschil tussen beide systemen afneemt naarmate de shortage kost per eenheid toeneemt. De reden hiervoor is doordat de shortage kost per eenheid toeneemt, de voorraadniveaus ook gaan toenemen om eventuele tekorten in te perken. Dit zorgt op zijn beurt ervoor dat minder transshipments moeten uitgevoerd worden.

Tot slot worden de gemiddelde e-fulfilment kosten over 100 periodes vergeleken van ieder model aan de hand van gepaarde t-testen. Hieruit volgt dezelfde resultaten als voor de gemiddelde transportkosten. Voor ieder model waarbij twee distributiecentra werden onderzocht is er geen significant verschil tussen de gemiddelde e-fulfilment kosten van beide systemen. Voor ieder model waarbij drie distributiecentra worden onderzocht is er wel een significant verschil tussen de gemiddelde e-fulfilment kosten van beide systemen en beschikt het systeem dat gebruik maakt van distribution sharing over de laagste gemiddelde e-fulfilment kost. Tabel 17 en 18 bevatten over dezelfde statistische waarden omwille van het feit dat het enige verschil zich bevindt tussen de transportkosten van beide

systemen aangezien de voorraadkosten voor beide systemen gelijk is. Hieruit kan dus geconcludeerd worden dat beide poolingsystemen even goed presteren wanneer een detailhandelaar beschikt over twee distributiecentra. Het is belangrijk om op te merken dat het distribution sharing poolingsysteem wel een lagere kost heeft. Wanneer een detailhandelaar beschikt over drie distributiecentra is het voordeliger om te kiezen voor een distribution sharing poolingsysteem. Een weergave van de lange termijn kosten voor ieder model wordt geïllustreerd in figuur 10.



Figuur 10: Vergelijking lange termijn kost van het systeem dat reactieve transshipments toepast met het systeem dat distribution sharing toepast voor twee depots en drie depots apart

6 CONCLUSIE

Na het uitvoeren van deze masterproef kunnen enkele conclusies worden gemaakt die hieronder verder worden toegelicht.

Een eerste conclusie kan gemaakt worden op basis van de literatuurstudie. Hieruit blijkt dat er voldoende onderzoek is uitgevoerd naar de concepten van laterale transshipments en multi depot vehicle routing problemen. Echter is het duidelijk dat er een schaarste is aan papers die zich focussen op de e-commerce context van laterale transshipments en multi-depot vehicle routing problemen. Verder werd weinig onderzoek gevonden binnen die e-commerce context die rekening houdt met inventarisbeperkingen binnen het multi-depot vehicle routing probleem.

Een tweede conclusie die gemaakt kan worden focust zich op het bestuderen van de voorraadniveaus en hun invloed op het eventueel elimineren van verschillende voorraadkosten, waaronder shortage kosten en holding kosten. Uit het empirisch onderzoek van deze masterproef is duidelijk geworden dat geoptimaliseerde voorraadniveaus belangrijk zijn om de shortage kosten te elimineren en dat geoptimaliseerde voorraadniveaus in sommige gevallen de gemiddelde shortage kosten over een lange periode elimineren. Hiernaast moet wel opgemerkt worden dat geoptimaliseerde voorraadniveaus enkel het halve werk zijn en dat verschillende poolingsmethodes ervoor kunnen zorgen dat de voorraadkosten nog meer verlagen.

De derde conclusie van deze masterproef heeft te maken met het vergelijken van de beide poolingsystemen met een systeem dat geen pooling toepast. Door beide poolingsystemen te vergelijken met een systeem dat geen pooling toepast zijn enkele inzichten duidelijk geworden op vlak van voorraadkosten, transportkosten en e-fulfilment kosten. Het is duidelijk dat voor ieder model van de poolingsystemen de gemiddelde voorraadkosten significant lager zijn dan de gemiddelde voorraadkosten van het systeem dat geen pooling toepast. Dit door het feit dat de globale inventaris van het gehele logistieke systeem dat pooling toepast beter wordt benut dan in een systeem dat geen pooling toepast. Hierdoor worden shortage kosten en holding kosten verminderd die binnen een systeem dat geen pooling toepast niet worden verminderd.

De laatste conclusie kan gevormd worden door beide poolingsystemen met elkaar te vergelijken op vlak van gemiddelde voorraadkosten, gemiddelde transportkosten en gemiddelde e-fulfilment kosten. Door het poolingsysteem met reactieve transshipments te vergelijken met het poolingsysteem met distribution sharing zijn enkele inzichten ontstaan. Door de gemiddelde voorraadkosten te vergelijken is duidelijk geworden dat beide poolingsmethoden dezelfde voorraadkosten hebben. Dat is omdat beide methoden dezelfde hoeveelheid tekorten en overschotten wegwerken, echter gebeurt dit op verschillende manieren. Het verschil bevindt zich in de gemiddelde transportkosten tussen beide poolingsystemen. Zo is er geen significant verschil tussen de gemiddelde transportkosten van beide poolingsystemen voor ieder model waarbij twee distributiecentra worden onderzocht. Wel moet opgemerkt worden dat het poolingsysteem waarbij distribution sharing wordt toegepast een lagere

gemiddelde transportkost heeft dan het poolingsysteem waarbij reactieve transshipments worden toegepast. Voor de modellen die drie distributiecentra onderzoeken bleek het poolingsysteem dat distribution sharing toepast de significant laagste transportkosten te bevatten in vergelijking met het poolingsysteem dat reactieve transshipments toepast. Wat betreft het vergelijken van de poolingsystemen op vlak van de gemiddelde e-fulfilment kosten is gebleken dat er geen verschil is tussen de gemiddelde e-fulfilment kosten van beide poolingsystemen voor modellen die twee distributiecentra onderzoeken. Echter blijkt wel dat de gemiddelde e-fulfilment kosten significant lager zijn binnen een systeem dat distribution sharing toepast.

Op basis van deze conclusies zijn extra inzichten verworven binnen het onderzoeksgebied van inventarismanagement en rittenplanning in e-fulfilment met meerdere depots.

7 BEPERKINGEN

Het is belangrijk om op te merken dat deze masterproef wordt onderworpen aan enkele beperkingen. Een eerste beperking is het gebruik van een (S-1, S) order replenishment strategie. Deze strategie zorgt ervoor dat in iedere periode de voorraad wordt bijgevuld. Het bijvullen van voorraad aan het begin van iedere periode is niet altijd haalbaar in de realiteit. Het gebruiken van een (R, Q) of een (s, S) replenishment strategie kan een beter beeld scheppen van de realiteit.

Een tweede beperking binnen deze masterproef is de opbouw van de modellen. Het onderzoek focust zich op symmetrische modellen in plaats van zowel symmetrische als asymmetrische modellen te onderzoeken. De resultaten van asymmetrische modellen zouden sterk kunnen verschillen van symmetrische modellen. Deze verschillen kunnen ontstaan in de verdeling van de voorraad over de meerdere depots. In een asymmetrisch systeem kan het gunstiger zijn om meer voorraad op te slaan in een meer centraal gelegen distributiecentrum. Hierdoor lijkt het interessant om asymmetrische modellen verder te onderzoeken.

Verder wordt binnen deze masterproef enkel onderzoek uitgevoerd naar modellen met twee en drie depots. Door enkel instanties van twee en drie depots te bestuderen, worden instanties met vier depots en meer genegeerd. Dit terwijl instanties met meer dan drie depots verschillende inzichten kunnen geven over de verdeling van inventaris en de invloed van nog meer depots die samenwerken op de transportkosten. Hierdoor zou het interessant zijn om verder onderzoek uit te voeren naar instanties met vier depots tot en met n depots.

Het onderzoeken van enkel twee verschillende shortage kosten kan geïdentificeerd worden als een beperking van het onderzoek. Vanwege het gebrek aan computing tijd, wordt binnen deze masterproef enkel onderzoek uitgevoerd naar twee verschillende shortage kosten. Echter, het onderzoeken van meer dan twee shortage kosten kan meer inzicht geven over de effecten van pooling op de kosten van een logistiek systeem.

Het onderzoek focust zich op een situatie waarbij één goed wordt verkocht. Dit is, net zoals de eerder vermelde replenishment strategie, onwaarschijnlijk voor grote detailhandelaren. Onderzoek uitvoeren naar twee of meerdere goederen die geleverd worden aan klanten zou eventueel meer inzicht kunnen geven in de distributie van grotere detailhandelaren die meerdere goederen verkopen. Hiernaast kan het toevoegen van een beperking van het aantal voertuigen dat kan leveren een realistische voorstelling kunnen geven van het distributieproces van een detailhandelaar.

Tot slot werd binnen deze masterproef gebruik gemaakt van Gurobi/Gurobipy om de rittenplanning uit te voeren. Door de grootte van de modellen en het gebrek aan tijd werd geopteerd om een beperkte rekentijd van vijf minuten voor ieder distributiecentrum in iedere periode toe te passen. Hierdoor is het mogelijk dat suboptimale rittenplanning gevonden kunnen worden. Hiernaast werden de modellen gelijktijdig gerund waardoor sommige modellen beter werden berekend dan andere modellen. Dit kan afgeleid worden uit de gaps van ieder model waarvan de gaps een weergave zijn van hoe optimaal de

rittenplanningen zijn berekend. De gaps worden weergegeven als een waarde tussen 0 en 1 en worden uitgedrukt in percentages. Hierbij wil een lagere gap aangeven dat een betere oplossing is gevonden. Deze gaps werden vergeleken tussen de modellen.

# Depots	Type Shortage Kost per Eenheid	Gemiddelde Verschil Tussen Beide Kosten	P-Waarde	Verwerp of Accepteer H_0
2	6	0.010	0.000**	Verwerp
2	12	0.006	0.000**	Verwerp
3	6	0.007	0.000**	Verwerp
3	12	0.002	0.080	Accepteer

Tabel 19: Vergelijken gaps alle modellen die een poolingsysteem toepassen aan de hand van distribution sharing met alle modellen die een poolingsysteem toepassen aan de hand van reactieve transshipments via two-tailed gepaarde t-testen (** = p-waarde is significant op een 1% significantieniveau)

De resultaten van de vergelijkingen tussen de gaps van het poolingsysteem aan de hand van reactieve transshipments en het poolingsysteem aan de hand van distribution sharing kunnen geraadpleegd worden in tabel 19. Hierbij werden de gemiddelde gaps van het poolingsysteem met reactieve transshipments afgetrokken van het poolingsysteem met distribution sharing. Deze vergelijking werden uitgevoerd door gepaarde t-testen uit te voeren aangezien het systeem met reactieve transshipments en het systeem met distribution sharing dezelfde aantal klanten voldoet. Uit tabel 19 kan worden afgeleid dat er wel degelijk significante verschillen zijn tussen de accuraatheid van de berekeningen tussen de modellen van de poolingsystemen. Zo zijn de berekeningen van de rittenplanning van het poolingsysteem dat distribution sharing toepast slechter dan de berekeningen van de rittenplanning van het poolingsysteem dat reactieve transshipments toepast. Enkel voor het model met drie depots en een shortage kost per eenheid van 12 is er geen significant verschil. In de bijlage kunnen de vergelijkingen van de gaps van de andere systemen geraadpleegd worden. Door gebruik te maken van andere berekeningsmethodes of door de rekentijd te vergroten is het mogelijk om betere rittenplanningen te bekomen.

8 BIBLIOGRAFIE

- Agatz, N. A. H., Fleischmann, M., & van Nunen, J. A. E. E. (2008). E-fulfillment and multi-channel distribution – A review. *European journal of operational research*, 187(2), 339-356. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2007.04.024>
- Ai, T. J., & Kachitvichyanukul, V. (2009). A particle swarm optimization for the vehicle routing problem with simultaneous pickup and delivery. *Computers & operations research*, 36(5), 1693-1702.
- Arnold, F. (2018). *Efficient Heuristics for Routing and Integrated Logistics* University of Antwerp]. Antwerp.
- Berman, O., Krass, D., & Mahdi Tajbakhsh, M. (2011). On the Benefits of Risk Pooling in Inventory Management. *Production and operations management*, 20(1), 57-71. <https://doi.org/10.1111/j.1937-5956.2010.01134.x>
- Bimpikis, K., & Markakis, M. G. (2016). Inventory Pooling Under Heavy-Tailed Demand. *Management science*, 62(6), 1800-1813. <https://doi.org/10.1287/mnsc.2015.2204>
- Bouanane, K., Benadada, Y., & Bencheikh, G. (2018, 2018). Application of a hybrid genetic algorithm to solve the multi-depots vehicle routing problem with simultaneous delivery and pickup and inventory restrictions.
- Burn, J., & Alexander, P. (2005). A Capabilities Analysis of E-Fulfillment Businesses: transformation in the logistics industry. *AJIS. Australasian journal of information systems*, 13(1). <https://doi.org/10.3127/ajis.v13i1.77>
- Carpaneto, G., Dell'Amico, M., Fischetti, M., & Toth, P. (1989). A branch and bound algorithm for the multiple depot vehicle scheduling problem. *Networks*, 19(5), 531-548.
- Chen, A., Gu, X., & Gao, Z. (2020). Two-Phase Algorithm to Multiple Depots Vehicle Routing Problem with Soft Time Windows. *IOP conference series. Earth and environmental science*, 587(1), 12033. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/587/1/012033>
- Dantzig, G. B., & Ramser, J. H. (1959). The truck dispatching problem. *Management science*, 6(1), 80-91.
- Desrochers, M., Desrosiers, J., & Solomon, M. (1992). A new optimization algorithm for the vehicle routing problem with time windows. *Operations research*, 40(2), 342-354.
- Erdoğan, G. (2017). An open source spreadsheet solver for vehicle routing problems. *Computers & operations research*, 84, 62-72.
- Ge, D., Pan, Y., Shen, Z.-J. M., Wu, D., Yuan, R., & Zhang, C. (2019). Retail supply chain management: a review of theories and practices. *Journal of Data, Information and Management*, 1(1), 45-64.
- Glazebrook, K., Paterson, C., Rauscher, S., & Archibald, T. (2015). Benefits of Hybrid Lateral Transshipments in Multi-Item Inventory Systems under Periodic Replenishment. *Production and operations management*, 24(2), 311-324. <https://doi.org/10.1111/poms.12233>
- Goetschalckx, M., & Jacobs-Blecha, C. (1989). The vehicle routing problem with backhauls. *European journal of operational research*, 42(1), 39-51.

- Gong, Y., Winands, E. M., & de Koster, R. (2010). A real-time picking and sorting system in e-commerce distribution centers.
- Hemmelmayr, V. C., Doerner, K. F., & Hartl, R. F. (2009). A variable neighborhood search heuristic for periodic routing problems. *European journal of operational research*, 195(3), 791-802. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2007.08.048>
- Herer, Y. T., & Rashit, A. (1999). Lateral stock transshipments in a two-location inventory system with fixed and joint replenishment costs. *Naval Research Logistics (NRL)*, 46(5), 525-547.
- Herer, Y. T., Tzur, M., & Yücesan, E. (2006). The multilocation transshipment problem. *IIE transactions*, 38(3), 185-200.
- Kancharla, S. R., & Ramadurai, G. (2019). Multi-depot Two-Echelon Fuel Minimizing Routing Problem with Heterogeneous Fleets: Model and Heuristic. *Networks and spatial economics*, 19(3), 969-1005. <https://doi.org/10.1007/s11067-018-9437-7>
- Karmarkar, U. S. (1979). Convex/stochastic programming and multilocation inventory problems. *Naval Research Logistics Quarterly*, 26(1), 1-19.
- Karmarkar, U. S. (1981). The multiperiod multilocation inventory problem. *Operations research*, 29(2), 215-228.
- Karmarkar, U. S., & Patel, N. R. (1977). The one-period, N-location distribution problem. *Naval Research Logistics Quarterly*, 24(4), 559-575.
- Khaoula, B., Youssef, B., & Ghizlane, B. (2019). Multi-Depots Vehicle Routing Problem with Simultaneous Delivery and Pickup and Inventory Restrictions: Formulation and Resolution. *International journal of advanced computer science & applications*, 10(2). <https://doi.org/10.14569/IJACSA.2019.0100215>
- Khouadjia, M. R., Sarasola, B., Alba, E., Talbi, E.-G., & Jourdan, L. (2013). Metaheuristics for dynamic vehicle routing. In *Metaheuristics for Dynamic Optimization* (pp. 265-289). Springer.
- Kulkarni, R., & Bhave, P. R. (1985). Integer programming formulations of vehicle routing problems. *European journal of operational research*, 20(1), 58-67.
- Laporte, G., Nobert, Y., & Taillefer, S. (1988). Solving a family of multi-depot vehicle routing and location-routing problems. *Transportation science*, 22(3), 161-172.
- Montoya-Torres, J. R., López Franco, J., Nieto Isaza, S., Felizzola Jiménez, H., & Herazo-Padilla, N. (2015). A literature review on the vehicle routing problem with multiple depots. *Computers & industrial engineering*, 79, 115-129. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2014.10.029>
- Moonsri, K., Sethanan, K., Worasan, K., & Nitisiri, K. (2021). A Hybrid and Self-Adaptive Differential Evolution Algorithm for the Multi-Depot Vehicle Routing Problem in Egg Distribution. *Applied sciences*, 12(1), 35. <https://doi.org/10.3390/app12010035>
- Özdemir, D., Yücesan, E., & Herer, Y. T. (2006). Multi-location transshipment problem with capacitated transportation. *European journal of operational research*, 175(1), 602-621. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2005.06.004>

- Paterson, C., Kiesmüller, G., Teunter, R., & Glazebrook, K. (2011). Inventory models with lateral transshipments: A review. *European journal of operational research*, 210(2), 125-136. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2010.05.048>
- Piotrowicz, W., & Cuthbertson, R. (2014). Introduction to the Special Issue Information Technology in Retail: Toward Omnichannel Retailing. *International journal of electronic commerce*, 18(4), 5-16. <https://doi.org/10.2753/JEC1086-4415180400>
- Ramakrishna, K. S., Sharafali, M., & Lim, Y. F. (2015). A two-item two-warehouse periodic review inventory model with transshipment. *Annals of Operations Research*, 233(1), 365-381.
- Reyes-Rubiano, L., Calvet, L., Juan, A. A., Faulin, J., & Bové, L. (2018). A biased-randomized variable neighborhood search for sustainable multi-depot vehicle routing problems. *Journal of heuristics*, 26(3), 401-422. <https://doi.org/10.1007/s10732-018-9366-0>
- Robinson, L. W. (1990). Optimal and approximate policies in multiperiod, multilocation inventory models with transshipments. *Operations research*, 38(2), 278-295.
- Statista. (2021a, July 7 2021). *Global retail e-commerce sales 2014-2024* <https://www.statista.com/statistics/379046/worldwide-retail-e-commerce-sales/>
- Statista. (2021b, September 24 2021). *Importance of omnichannel strategy according to e-commerce companies worldwide 2021* <https://www.statista.com/statistics/1174137/view-omnichannel-strategy-ecommerce-companies-worldwide/>
- Tagaras, G. (1989). Effects of pooling on the optimization and service levels of two-location inventory systems. *IIE transactions*, 21(3), 250-257.
- Tagaras, G. (1999). Pooling in multi-location periodic inventory distribution systems. *Omega (Oxford)*, 27(1), 39-59. [https://doi.org/10.1016/S0305-0483\(98\)00030-9](https://doi.org/10.1016/S0305-0483(98)00030-9)
- Tagaras, G., & Cohen, M. A. (1992). Pooling in two-location inventory systems with non-negligible replenishment lead times. *Management science*, 38(8), 1067-1083.
- Tagaras, G., & Vlachos, D. (2002). EFFECTIVENESS OF STOCK TRANSSHIPMENT UNDER VARIOUS DEMAND DISTRIBUTIONS AND NONNEGLECTIBLE TRANSSHIPMENT TIMES. *Production and operations management*, 11(2), 183-198. <https://doi.org/10.1111/j.1937-5956.2002.tb00490.x>
- Torabi, S., Hassini, E., & Jaihoonian, M. (2015). Fulfillment source allocation, inventory transshipment, and customer order transfer in e-tailing. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 79, 128-144.
- Verhoef, P. C., Kannan, P. K., & Inman, J. (2015). From Multi-Channel Retailing to Omni-Channel Retailing: Introduction to the Special Issue on Multi-Channel Retailing. *Journal of retailing*, 91(2), 174-181. <https://doi.org/10.1016/j.jretai.2015.02.005>
- Vries, N. d. (2014). *A Hybrid Genetic Algorithm for a Multi-Depot Vehicle Routing Problem Variant with Split Delivery and an Inventory Restriction* University of Groningen. Faculty of Economics and Business].

- Wang, Y., Li, Q., Guan, X., Fan, J., Xu, M., & Wang, H. (2021). Collaborative multi-depot pickup and delivery vehicle routing problem with split loads and time windows. *Knowledge-based systems*, 231, 107412. <https://doi.org/10.1016/j.knosys.2021.107412>
- Xia, Y., & Zhang, G. P. (2010). The Impact of the Online Channel on Retailers' Performances: An Empirical Evaluation: The Impact of the Online Channel on Retailers' Performances. *Decision sciences*, 41(3), 517-546. <https://doi.org/10.1111/j.1540-5915.2010.00279.x>
- Xu, P. J., Allgor, R., & Graves, S. C. (2009). Benefits of reevaluating real-time order fulfillment decisions. *Manufacturing & Service Operations Management*, 11(2), 340-355.
- Zennaro, I., Finco, S., Calzavara, M., & Persona, A. (2022). Implementing E-Commerce from Logistic Perspective: Literature Review and Methodological Framework. *Sustainability (Basel, Switzerland)*, 14(2), 911. <https://doi.org/10.3390/su14020911>
- Zhang, Q., Wang, Z., Huang, M., Yu, Y., & Fang, S.-C. (2022). Heterogeneous multi-depot collaborative vehicle routing problem. *Transportation research. Part B: methodological*, 160, 1-20. <https://doi.org/10.1016/j.trb.2022.03.004>
- Zhang, Y., Huang, M., Hu, X., & Sun, L. (2018). Package consolidation approach to the split-order fulfillment problem of online supermarkets. *Journal of the operational research society*, 69(1), 127-141.
- Zhen, L., Baldacci, R., Tan, Z., Wang, S., & Lyu, J. (2022). Scheduling heterogeneous delivery tasks on a mixed logistics platform. *European journal of operational research*, 298(2), 680-698. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2021.06.057>
- Zhou, L., Baldacci, R., Vigo, D., & Wang, X. (2018). A multi-depot two-echelon vehicle routing problem with delivery options arising in the last mile distribution. *European journal of operational research*, 265(2), 765-778.

9 BIJLAGEN

9.1 DATA

P	DC1	DC2	P	DC1	DC2	P	DC1	DC2	P	DC1	DC2
P1	157	204	P26	129	226	P51	167	193	P76	170	200
P2	172	198	P27	160	161	P52	113	195	P77	157	207
P3	125	150	P28	198	161	P53	179	201	P78	217	125
P4	194	173	P29	176	109	P54	261	173	P79	275	216
P5	255	164	P30	166	184	P55	213	177	P80	115	181
P6	145	169	P31	182	227	P56	243	222	P81	150	223
P7	128	180	P32	163	184	P57	226	159	P82	181	146
P8	138	262	P33	86	177	P58	200	112	P83	198	131
P9	200	169	P34	191	90	P59	146	168	P84	125	189
P10	111	147	P35	133	189	P60	208	169	P85	197	132
P11	147	181	P36	172	233	P61	188	236	P86	124	196
P12	240	183	P37	178	149	P62	79	170	P87	97	137
P13	204	229	P38	103	205	P63	166	207	P88	224	198
P14	206	233	P39	173	183	P64	130	223	P89	197	143
P15	138	194	P40	176	233	P65	155	147	P90	231	250
P16	161	140	P41	201	176	P66	207	202	P91	189	163
P17	197	166	P42	235	185	P67	123	195	P92	203	214
P18	244	200	P43	176	176	P68	128	140	P93	188	236
P19	273	155	P44	204	176	P69	169	202	P94	172	226
P20	189	180	P45	148	205	P70	176	155	P95	137	225
P21	141	129	P46	160	230	P71	210	132	P96	182	171
P22	163	201	P47	160	138	P72	196	160	P97	152	170
P23	204	138	P48	234	199	P73	178	197	P98	130	174
P24	213	124	P49	160	214	P74	182	127	P99	170	209
P25	209	180	P50	166	150	P75	242	183	P100	164	131

Tabel 20: Input 2 depots voor berekening order-up-to levels

P	DC	DC	DC	P	DC	DC	DC	P	DC	DC	DC	P	DC	DC	DC
	1	2	3		1	2	3		1	2	3		1	2	3
P1	157	204	203	P26	129	226	174	P51	167	193	195	P76	170	200	172
P2	172	198	167	P27	160	161	89	P52	113	195	199	P77	157	207	244
P3	125	150	212	P28	198	161	183	P53	179	201	182	P78	217	125	142
P4	194	173	165	P29	176	109	167	P54	261	173	147	P79	275	216	152
P5	255	164	150	P30	166	184	198	P55	213	177	103	P80	115	181	150
P6	145	169	161	P31	182	227	162	P56	243	222	158	P81	150	223	172
P7	128	180	175	P32	163	184	150	P57	226	159	224	P82	181	146	151
P8	138	262	169	P33	86	177	188	P58	200	112	127	P83	198	131	130
P9	200	169	205	P34	191	90	103	P59	146	168	207	P84	125	189	183
P10	111	147	103	P35	133	189	167	P60	208	169	180	P85	197	132	201
P11	147	181	155	P36	172	233	194	P61	188	236	181	P86	124	196	161
P12	240	183	192	P37	178	149	232	P62	79	170	138	P87	97	137	184
P13	204	229	154	P38	103	205	168	P63	166	207	206	P88	224	198	172
P14	206	233	146	P39	173	183	220	P64	130	223	249	P89	197	143	164
P15	138	194	152	P40	176	233	152	P65	155	147	177	P90	231	250	113
P16	161	140	213	P41	201	176	170	P66	207	202	110	P91	189	163	93
P17	197	166	178	P42	235	185	144	P67	123	195	164	P92	203	214	120
P18	244	200	140	P43	176	176	191	P68	128	140	166	P93	188	236	223
P19	273	155	216	P44	204	176	171	P69	169	202	165	P94	172	226	111
P20	189	180	188	P45	148	205	123	P70	176	155	243	P95	137	225	199
P21	141	129	192	P46	160	230	211	P71	210	132	125	P96	182	171	142
P22	163	201	148	P47	160	138	184	P72	196	160	145	P97	152	170	174
P23	204	138	149	P48	234	199	249	P73	178	197	191	P98	130	174	221
P24	213	124	249	P49	160	214	206	P74	182	127	156	P99	170	209	154
P25	209	180	168	P50	166	150	150	P75	242	183	182	P100	164	131	109

Tabel 21: Input 3 depots voor berekening order-up-to levels

```

# Random Seed
rnd = np.random
rnd.seed(0)

# Data Creation
# Create Depot Capacity per Period
depot_capa = []
for i in range(AMOUNT_CENTERS):
    one_depot = [capacities[i] for j in range(AMOUNT_RUNS)]
    depot_capa.append(one_depot)

# Create Clients, Coordinates and Demand per Centrum for Each Period
n_all = []
xc_all = []
yc_all = []
q_list_all = []
n_capital_all = []
q_alt = []
xc_alt = []
yc_alt = []

for j in range(AMOUNT_CENTERS):
    n = []
    xc = []
    yc = []
    q_list = []
    n_capital = []

# Create Clients and Coordinates per Period (for each Client and the Depots)
for i in range(AMOUNT_RUNS):
    n.append(int(rnd.normal(50, 10)))
    xc_temp = {}
    yc_temp = {}

    if j == 0:
        xc_temp[0] = depot_pos[0][0]
        yc_temp[0] = depot_pos[0][1]

```



```

if j == 1:
    xc_temp[0] = depot_pos[1][0]
    yc_temp[0] = depot_pos[1][1]

if j == 2:
    xc_temp[0] = depot_pos[2][0]
    yc_temp[0] = depot_pos[2][1]

for k in range(1, n[i] + DEPOT):
    if j == 0:
        xc_temp[k] = rnd.uniform(10, 50)
        yc_temp[k] = rnd.uniform(10, 50)
    if j == 1:
        xc_temp[k] = rnd.uniform(50, 90)
        yc_temp[k] = rnd.uniform(10, 50)
    if j == 2:
        xc_temp[k] = rnd.uniform(30, 70)
        yc_temp[k] = rnd.uniform(44.641, 84.641)

# Create Demand for each Client
N = [i for i in range(1, n[i] + 1)]
q = {i: rnd.randint(1, 6) for i in N}

# Append Coordinates, Clients and Demand to list containing periods
xc.append(xc_temp)
yc.append(yc_temp)
q_list.append(q)
n_capital.append(N)

# Append to Coordinates, Clients and Demand to list containing Depots (for each depot all the
periods)
n_all.append(n)
xc_all.append(xc)
yc_all.append(yc)
q_list_all.append(q_list)
n_capital_all.append(n_capital)

```

Overzicht 1: Python code om tweede instantie data te genereren

9.2 KOSTEN VAN SYSTEMEN VERGELIJKEN

	Zonder Pooling	Reactieve Transshipments
Gemiddelden	138,19	117,22
Variantie	1527,105	1503,85
# Observaties	100	100
Pearson Correlatie	0,774248	
Vrijheidsgraden	99	
T-Statistiek	8,016251	
P-Waarde	2,22E-12	

Tabel 22: Gepaarde t-test van voorraadkost tussen het systeem zonder pooling en het systeem met reactieve transshipments voor een model met twee depots en een shortage kost per eenheid van 6

	Zonder Pooling	Reactieve Transshipments
Gemiddelden	171,77	130,22
Variantie	1848,199	1503,85
# Observaties	100	100
Pearson Correlatie	0,731542	
Vrijheidsgraden	99	
T-Statistiek	13,75213	
P-Waarde	1,06E-24	

Tabel 23: Gepaarde t-test van voorraadkost tussen het systeem zonder pooling en het systeem met reactieve transshipments voor een model met twee depots en een shortage kost per eenheid van 12

	Zonder Pooling	Reactieve Transshipments
Gemiddelden	199,35	140,69
Variantie	3201,28	2724,256
# Observaties	100	100
Pearson Correlatie	0,746026	
Vrijheidsgraden	99	
T-Statistiek	15,04955	
P-Waarde	2,47E-27	

Tabel 24: Gepaarde t-test van voorraadkost tussen het systeem zonder pooling en het systeem met reactieve transshipments voor een model met drie depots en een shortage kost per eenheid van 6

	Zonder Pooling	Reactieve Transshipments
Gemiddelden	247,75	155,69
Variantie	3715,765	2724,256
# Observaties	100	100
Pearson Correlatie	0,739085	
Vrijheidsgraden	99	
T-Statistiek	22,08845	
P-Waarde	4,81E-40	

Tabel 25: Gepaarde t-test van voorraadkost tussen het systeem zonder pooling en het systeem met reactieve transshipments voor een model met drie depots en een shortage kost per eenheid van 12

	Zonder Pooling	Reactieve Transshipments
Gemiddelden	538,5754	546,0506
Variantie	1870,643	3326,69
# Observaties	100	100
Pearson Correlatie	0,906332	
Vrijheidsgraden	99	
T-Statistiek	-2,87623	
P-Waarde	0,004929	

Tabel 26: Gepaarde t-test van transportkosten tussen het systeem zonder pooling en het systeem met reactieve transshipments voor een model met twee depots en een shortage kost per eenheid van 6

	Zonder Pooling	Reactieve Transshipments
Gemiddelden	540,0054	545,5079
Variantie	1956,165	3081,758
# Observaties	100	100
Pearson Correlatie	0,925361	
Vrijheidsgraden	99	
T-Statistiek	-2,47605	
P-Waarde	0,014981	

Tabel 27: Gepaarde t-test van transportkosten tussen het systeem zonder pooling en het systeem met reactieve transshipments voor een model met twee depots en een shortage kost per eenheid van 12

	Zonder Pooling	Reactieve Transshipments
Gemiddelden	806,0581	821,5924
Variantie	3263,584	6246,211
# Observaties	100	100
Pearson Correlatie	0,879654	
Vrijheidsgraden	99	
T-Statistiek	-3,92484	
P-Waarde	0,00016	

Tabel 28: Gepaarde t-test van transportkosten tussen het systeem zonder pooling en het systeem met reactieve transshipments voor een model met drie depots en een shortage kost per eenheid van 6

	Zonder Pooling	Reactieve Transshipments
Gemiddelden	807,1893	819,0187
Variantie	3423,982	5790,552
# Observaties	100	100
Pearson Correlatie	0,919057	
Vrijheidsgraden	99	
T-Statistiek	-3,68607	
P-Waarde	0,000372	

Tabel 29: Gepaarde t-test van transportkosten tussen het systeem zonder pooling en het systeem met reactieve transshipments voor een model met drie depots en een shortage kost per eenheid van 12

	Zonder Pooling	Reactieve Transshipments
Gemiddelden	676,7654	663,2706
Variantie	900,9481	898,6828
# Observaties	100	100
Pearson Correlatie	0,810082	
Vrijheidsgraden	99	
T-Statistiek	7,299483	
P-Waarde	7,35E-11	

Tabel 30: Gepaarde t-test van e-fulfilment kosten tussen het systeem zonder pooling en het systeem met reactieve transshipments voor een model met twee depots en een shortage kost per eenheid van

	Zonder Pooling	Reactieve Transshipments
Gemiddelden	711,7754	675,7279
Variantie	1146,64	819,9188
# Observaties	100	100
Pearson Correlatie	0,777126	
Vrijheidsgraden	99	
T-Statistiek	16,81572	
P-Waarde	8,94E-31	

Tabel 31: Gepaarde t-test van e-fulfilment kosten tussen het systeem zonder pooling en het systeem met reactieve transshipments voor een model met twee depots en een shortage kost per eenheid van

12

	Zonder Pooling	Reactieve Transshipments
Gemiddelden	1005,40805	962,2824
Variantie	1705,048854	1830,199
# Observaties	100	100
Pearson Correlatie	0,722812676	
Vrijheidsgraden	99	
T-Statistiek	13,76524364	
P-Waarde	1,00035E-24	

Tabel 32: Gepaarde t-test van e-fulfilment kosten tussen het systeem zonder pooling en het systeem met reactieve transshipments voor een model met drie depots en een shortage kost per eenheid van 6

	Zonder Pooling	Reactieve Transshipments
Gemiddelden	1054,939	974,7087
Variantie	2098,3	1600,373
# Observaties	100	100
Pearson Correlatie	0,749991	
Vrijheidsgraden	99	
T-Statistiek	26,03088	
P-Waarde	4,48E-46	

Tabel 33: Gepaarde t-test van e-fulfilment kosten tussen het systeem zonder pooling en het systeem met reactieve transshipments voor een model met drie depots en een shortage kost per eenheid van

12

	Zonder Pooling	Distribution Sharing
Gemiddelden	138,19	117,22
Variantie	1527,105	1503,85
# Observaties	100	100
Pearson Correlatie	0,774248	
Vrijheidsgraden	99	
T-Statistiek	8,016251	
P-Waarde	2,22E-12	

Tabel 34: Gepaarde t-test van voorraadkost tussen het systeem zonder pooling en het systeem met distribution sharing voor een model met twee depots en een shortage kost per eenheid van 6

	Zonder Pooling	Distribution Sharing
Gemiddelden	171,77	130,22
Variantie	1848,199	1503,85
# Observaties	100	100
Pearson Correlatie	0,731542	
Vrijheidsgraden	99	
T-Statistiek	13,75213	
P-Waarde	1,06E-24	

Tabel 35: Gepaarde t-test van voorraadkost tussen het systeem zonder pooling en het systeem met distribution sharing voor een model met twee depots en een shortage kost per eenheid van 12

	Zonder Pooling	Distribution Sharing
Gemiddelden	199,35	140,69
Variantie	3201,28	2724,256
# Observaties	100	100
Pearson Correlatie	0,746026	
Vrijheidsgraden	99	
T-Statistiek	15,04955	
P-Waarde	2,47E-27	

Tabel 36: Gepaarde t-test van voorraadkost tussen het systeem zonder pooling en het systeem met distribution sharing voor een model met drie depots en een shortage kost per eenheid van 6

	Zonder Pooling	Distribution Sharing
Gemiddelden	247,75	155,69
Variantie	3715,765	2724,256
# Observaties	100	100
Pearson Correlatie	0,739085	
Vrijheidsgraden	99	
T-Statistiek	22,08845	
P-Waarde	4,81E-40	

Tabel 37: Gepaarde t-test van voorraadkost tussen het systeem zonder pooling en het systeem met distribution sharing voor een model met drie depots en een shortage kost per eenheid van 12

	Zonder Pooling	Distribution Sharing
Gemiddelden	538,5754	543,3633
Variantie	1870,643	2290,225
# Observaties	100	100
Pearson Correlatie	0,977832	
Vrijheidsgraden	99	
T-Statistiek	-4,50449	
P-Waarde	1,82E-05	

Tabel 38: Gepaarde t-test van transportkosten tussen het systeem zonder pooling en het systeem met distribution sharing voor een model met twee depots en een shortage kost per eenheid van 6

	Zonder Pooling	Distribution Sharing
Gemiddelden	540,0054	543,4846
Variantie	1956,165	2320,146
# Observaties	100	100
Pearson Correlatie	0,98358	
Vrijheidsgraden	99	
T-Statistiek	-3,7632	
P-Waarde	0,000284	

Tabel 39: Gepaarde t-test van transportkosten tussen het systeem zonder pooling en het systeem met distribution sharing voor een model met twee depots en een shortage kost per eenheid van 12

	Zonder Pooling	Distribution Sharing
Gemiddelden	806,0581	812,042
Variantie	3263,584	4233,582
# Observaties	100	100
Pearson Correlatie	0,94185	
Vrijheidsgraden	99	
T-Statistiek	-2,68875	
P-Waarde	0,008416	

Tabel 40: Gepaarde t-test van transportkosten tussen het systeem zonder pooling en het systeem met distribution sharing voor een model met drie depots en een shortage kost per eenheid van 6

	Zonder Pooling	Distribution Sharing
Gemiddelden	807,1893	810,9645
Variantie	3423,982	4027,942
# Observaties	100	100
Pearson Correlatie	0,969756	
Vrijheidsgraden	99	
T-Statistiek	-2,39177	
P-Waarde	0,018656	

Tabel 41: Gepaarde t-test van transportkosten tussen het systeem zonder pooling en het systeem met distribution sharing voor een model met drie depots en een shortage kost per eenheid van 12

	Zonder Pooling	Distribution Sharing
Gemiddelden	676,7654	660,5833
Variantie	900,9481	431,9001
# Observaties	100	100
Pearson Correlatie	0,801158	
Vrijheidsgraden	99	
T-Statistiek	8,863339	
P-Waarde	3,28E-14	

Tabel 42: Gepaarde t-test van e-fulfilment kost tussen het systeem zonder pooling en het systeem met distribution sharing voor een model met twee depots en een shortage kost per eenheid van 6

	Zonder Pooling	Distribution Sharing
Gemiddelden	711,7754	673,7046
Variantie	1146,64	444,756
# Observaties	100	100
Pearson Correlatie	0,741998	
Vrijheidsgraden	99	
T-Statistiek	16,5114	
P-Waarde	3,41E-30	

Tabel 43: Gepaarde t-test van e-fulfilment kost tussen het systeem zonder pooling en het systeem met distribution sharing voor een model met twee depots en een shortage kost per eenheid van 12

	Zonder Pooling	Distribution Sharing
Gemiddelden	1005,40805	952,732
Variantie	1705,048854	871,4404
# Observaties	100	100
Pearson Correlatie	0,889138568	
Vrijheidsgraden	99	
T-Statistiek	26,05133594	
P-Waarde	4,18296E-46	

Tabel 44: Gepaarde t-test van e-fulfilment kost tussen het systeem zonder pooling en het systeem met distribution sharing voor een model met drie depots en een shortage kost per eenheid van 6

	Zonder Pooling	Distribution Sharing
Gemiddelden	1054,939	966,6545
Variantie	2098,3	784,8558
# Observaties	100	100
Pearson Correlatie	0,767778	
Vrijheidsgraden	99	
T-Statistiek	29,22479	
P-Waarde	1,75E-50	

Tabel 45: Gepaarde t-test van e-fulfilment kost tussen het systeem zonder pooling en het systeem met distribution sharing voor een model met drie depots en een shortage kost per eenheid van 12

	Reactieve Transshipments	Distribution Sharing
Gemiddelden	117,22	117,22
Variantie	1503,85	1503,85
# Observaties	100	100
Pearson Correlatie	1	
Vrijheidsgraden	99	
T-Statistiek	#DIV/0!	
P-Waarde	#DIV/0!	

Tabel 46: Gepaarde t-test van voorraadkosten tussen het systeem met reactieve transshipments en het systeem met distribution sharing voor een model met twee depots en een shortage kost per eenheid van 6

	Reactieve Transshipments	Distribution Sharing
Gemiddelden	130,22	130,22
Variantie	1503,85	1503,85
# Observaties	100	100
Pearson Correlatie	1	
Vrijheidsgraden	99	
T-Statistiek	#DIV/0!	
P-Waarde	#DIV/0!	

Tabel 47: Gepaarde t-test van voorraadkosten tussen het systeem met reactieve transshipments en het systeem met distribution sharing voor een model met twee depots en een shortage kost per eenheid van 12

	Reactieve Transshipments	Distribution Sharing
Gemiddelden	140,69	140,69
Variantie	2724,256	2724,256
# Observaties	100	100
Pearson Correlatie	1	
Vrijheidsgraden	99	
T-Statistiek	#DIV/0!	
P-Waarde	#DIV/0!	

Tabel 48: Gepaarde t-test van voorraadkosten tussen het systeem met reactieve transshipments en het systeem met distribution sharing voor een model met drie depots en een shortage kost per eenheid van 6

	Reactieve Transshipments	Distribution Sharing
Gemiddelden	155,69	155,69
Variantie	2724,256	2724,256
# Observaties	100	100
Pearson Correlatie	1	
Vrijheidsgraden	99	
T-Statistiek	#DIV/0!	
P-Waarde	#DIV/0!	

Tabel 49: Gepaarde t-test van voorraadkosten tussen het systeem met reactieve transshipments en het systeem met distribution sharing voor een model met drie depots en een shortage kost per eenheid van 12

	Reactieve Transshipments	Distribution Sharing
Gemiddelden	546,0506	543,3633
Variantie	3326,69	2290,225
# Observaties	100	100
Pearson Correlatie	0,95793	
Vrijheidsgraden	99	
T-Statistiek	1,482228	
P-Waarde	0,141456	

Tabel 50: Gepaarde t-test van transportkosten tussen het systeem met reactieve transshipments en het systeem met distribution sharing voor een model met twee depots en een shortage kost per eenheid van 6

	Reactieve Transshipments	Distribution Sharing
Gemiddelden	545,5079	543,4846
Variantie	3081,758	2320,146
# Observaties	100	100
Pearson Correlatie	0,967763	
Vrijheidsgraden	99	
T-Statistiek	1,344816	
P-Waarde	0,181758	

Tabel 51: Gepaarde t-test van transportkosten tussen het systeem met reactieve transshipments en het systeem met distribution sharing voor een model met twee depots en een shortage kost per eenheid van 12

	Reactieve Transshipments	Distribution Sharing
Gemiddelden	821,5924	812,042
Variantie	6246,211	4233,582
# Observaties	100	100
Pearson Correlatie	0,942646	
Vrijheidsgraden	99	
T-Statistiek	3,408798	
P-Waarde	0,000945	

Tabel 52: Gepaarde t-test van transportkosten tussen het systeem met reactieve transshipments en het systeem met distribution sharing voor een model met drie depots en een shortage kost per eenheid van 6

	Reactieve Transshipments	Distribution Sharing
Gemiddelden	819,0187	810,9645
Variantie	5790,552	4027,942
# Observaties	100	100
Pearson Correlatie	0,961692	
Vrijheidsgraden	99	
T-Statistiek	3,50008	
P-Waarde	0,000699	

Tabel 53: Gepaarde t-test van transportkosten tussen het systeem met reactieve transshipments en het systeem met distribution sharing voor een model met drie depots en een shortage kost per eenheid van 12

	Reactieve Transshipments	Distribution Sharing
Gemiddelden	663,2706	660,5833
Variantie	898,6828	431,9001
# Observaties	100	100
Pearson Correlatie	0,804067	
Vrijheidsgraden	99	
T-Statistiek	1,482228	
P-Waarde	0,141456	

Tabel 54: Gepaarde t-test van e-fulfilment kost tussen het systeem met reactieve transshipments en het systeem met distribution sharing voor een model met twee depots en een shortage kost per eenheid van 6

	Reactieve Transshipments	Distribution Sharing
Gemiddelden	675,7279	673,7046
Variantie	819,9188	444,756
# Observaties	100	100
Pearson Correlatie	0,85971	
Vrijheidsgraden	99	
T-Statistiek	1,344816	
P-Waarde	0,181758	

Tabel 55: Gepaarde t-test van e-fulfilment kost tussen het systeem met reactieve transshipments en het systeem met distribution sharing voor een model met twee depots en een shortage kost per eenheid van 12

	Reactieve Transshipments	Distribution Sharing
Gemiddelden	962,2824	952,732
Variantie	1830,199	871,4404
# Observaties	100	100
Pearson Correlatie	0,758847	
Vrijheidsgraden	99	
T-Statistiek	3,408798	
P-Waarde	0,000945	

Tabel 56: Gepaarde t-test van e-fulfilment kost tussen het systeem met reactieve transshipments en het systeem met distribution sharing voor een model met drie depots en een shortage kost per eenheid van 6

	Reactieve Transshipments	Distribution Sharing
Gemiddelden	974,7087	966,6545
Variantie	1600,373	784,8558
# Observaties	100	100
Pearson Correlatie	0,82789	
Vrijheidsgraden	99	
T-Statistiek	3,50008	
P-Waarde	0,000699	

Tabel 57: Gepaarde t-test van e-fulfilment kost tussen het systeem met reactieve transshipments en het systeem met distribution sharing voor een model met drie depots en een shortage kost per eenheid van 12

9.3 GAPS VERGELIJKEN

	Zonder Pooling	Reactieve Transshipments
Gemiddelden	0,150217	0,150417
Variantie	0,002729	0,002747
# Observaties	200	200
Pearson Correlatie	0,996638	
Vrijheidsgraden	199	
T-Statistiek	-0,65823	
P-Waarde	0,511149	

Tabel 58: Gepaarde t-test van gaps tussen het systeem zonder pooling en het systeem met reactieve transshipments voor een model met twee depots en een shortage kost per eenheid van 6

	Zonder Pooling	Reactieve Transshipments
Gemiddelden	0,154546	0,154983
Variantie	0,002748	0,002822
# Observaties	200	200
Pearson Correlatie	0,996441	
Vrijheidsgraden	199	
T-Statistiek	-1,37033	
P-Waarde	0,172129	

Tabel 59: Gepaarde t-test van gaps tussen het systeem zonder pooling en het systeem met reactieve transshipments voor een model met twee depots en een shortage kost per eenheid van 12

	Zonder Pooling	Reactieve Transshipments
Gemiddelden	0,156585	0,152467
Variantie	0,002875	0,002753
# Observaties	300	300
Pearson Correlatie	0,98333	
Vrijheidsgraden	299	
T-Statistiek	7,313206	
P-Waarde	2,41E-12	

Tabel 60: Gepaarde t-test van gaps tussen het systeem zonder pooling en het systeem met reactieve transshipments voor een model met drie depots en een shortage kost per eenheid van 6

	Zonder Pooling	Reactieve Transshipments
Gemiddelden	0,156724	0,157066
Variantie	0,002844	0,002937
# Observaties	300	300
Pearson Correlatie	0,992607	
Vrijheidsgraden	299	
T-Statistiek	-0,89947	
P-Waarde	0,369124	

Tabel 61: Gepaarde t-test van gaps tussen het systeem zonder pooling en het systeem met reactieve transshipments voor een model met drie depots en een shortage kost per eenheid van 12

	Zonder Pooling	Distribution Sharing
Gemiddelden	0,150217	0,160394
Variantie	0,002729	0,002903
# Observaties	200	200
Pearson Correlatie	0,971486	
Vrijheidsgraden	199	
T-Statistiek	-11,2663	
P-Waarde	4,3E-23	

Tabel 62: Gepaarde t-test van gaps tussen het systeem zonder pooling en het systeem met distribution sharing voor een model met twee depots en een shortage kost per eenheid van 6

	Zonder Pooling	Distribution Sharing
Gemiddelden	0,154546	0,160855
Variantie	0,002748	0,002912
# Observaties	200	200
Pearson Correlatie	0,982358	
Vrijheidsgraden	199	
T-Statistiek	-8,82526	
P-Waarde	5,61E-16	

Tabel 63: Gepaarde t-test van gaps tussen het systeem zonder pooling en het systeem met distribution sharing voor een model met twee depots en een shortage kost per eenheid van 12

	Zonder Pooling	Distribution Sharing
Gemiddelden	0,156585	0,159879
Variantie	0,002875	0,002902
# Observaties	300	300
Pearson Correlatie	0,943566	
Vrijheidsgraden	299	
T-Statistiek	-3,1605	
P-Waarde	0,001736	

Tabel 64: Gepaarde t-test van gaps tussen het systeem zonder pooling en het systeem met distribution sharing voor een model met drie depots en een shortage kost per eenheid van 6

	Zonder Pooling	Distribution Sharing
Gemiddelden	0,156724	0,158785
Variantie	0,002844	0,00279
# Observaties	300	300
Pearson Correlatie	0,956654	
Vrijheidsgraden	299	
T-Statistiek	-2,28319	
P-Waarde	0,023121	

Tabel 65: Gepaarde t-test van gaps tussen het systeem zonder pooling en het systeem met distribution sharing voor een model met drie depots en een shortage kost per eenheid van 12

	Reactieve Transshipments	Distribution Sharing
Gemiddelden	0,150417	0,160394
Variantie	0,002747	0,002903
# Observaties	200	200
Pearson Correlatie	0,971432	
Vrijheidsgraden	199	
T-Statistiek	-11,0349	
P-Waarde	2,13E-22	

Tabel 66: Gepaarde t-test van gaps tussen het systeem met reactieve transshipments en het systeem met distribution sharing voor een model met twee depots en een shortage kost per eenheid van 6

	Reactieve Transshipments	Distribution Sharing
Gemiddelden	0,154983	0,160855
Variantie	0,002822	0,002912
# Observaties	200	200
Pearson Correlatie	0,982552	
Vrijheidsgraden	199	
T-Statistiek	-8,27297	
P-Waarde	1,86E-14	

Tabel 67: Gepaarde t-test van gaps tussen het systeem met reactieve transshipments en het systeem met distribution sharing voor een model met twee depots en een shortage kost per eenheid van 12

	Reactieve Transshipments	Distribution Sharing
Gemiddelden	0,152467	0,159879
Variantie	0,002753	0,002902
# Observaties	300	300
Pearson Correlatie	0,939777	
Vrijheidsgraden	299	
T-Statistiek	-6,93858	
P-Waarde	2,46E-11	

Tabel 68: Gepaarde t-test van gaps tussen het systeem met reactieve transshipments en het systeem met distribution sharing voor een model met drie depots en een shortage kost per eenheid van 6

	Reactieve Transshipments	Distribution Sharing
Gemiddelden	0,157066	0,158785
Variantie	0,002937	0,00279
# Observaties	300	300
Pearson Correlatie	0,950321	
Vrijheidsgraden	299	
T-Statistiek	-1,75931	
P-Waarde	0,079548	

Tabel 69: Gepaarde t-test van gaps tussen het systeem met reactieve transshipments en het systeem met distribution sharing voor een model met drie depots en een shortage kost per eenheid van 12