

Voorwoord

Het schrijven van een masterproef is de laatste fase van mijn opleiding aan de Universiteit Hasselt. De masterproef liet me toe alle opgedane kennis en inzichten te bundelen in een tekst gesitueerd in mijn interessegebied, namelijk logistiek.

Van de gelegenheid wil ik gebruik maken om bepaalde personen te bedanken. Zonder hun hulp zou de masterproef niet geëvolueerd zijn tot het huidige resultaat. Als eerste wil ik graag mijn promotor, prof. Dr. An Caris, bedanken voor haar snelle en opbouwende feedback. De feedback heeft ervoor gezorgd dat ik kritisch stond tegenover mijn eigen werk. Voor het empirisch gedeelte van mijn masterproef kon ik rekenen op Teun van Gils. Zijn kennis vanuit de academische wereld heeft een enorme bijdrage geleverd. Tevens wens Benjamin Hermans en Hans Lemmens van het bedrijf H. Essers te bedanken. Zij hebben voor de fundering van het empirisch gedeelte gezorgd. Benjamin Hermans was de geschikte persoon om te discussiëren over de probleemstelling en om gerichte feedback van te krijgen. Hans Lemmens beantwoordde mijn talrijke vragen en bezorgde mij de benodigde data voor het uitvoeren van het experiment. Daarbuiten wens ik ook enkele personen uit mijn persoonlijke levenssfeer te bedanken. Op een indirecte wijze zijn zij verantwoordelijk voor het vlot verloop van mijn masterproef. Zo bedank ik mijn ouders voor het bieden van deze opportuniteit. Zij waren een toeverlaat in een hectische periode. Ook wil in mijn vriendin bedanken om meerdere malen mijn teksten na te kijken op schrijffouten. Tot slot wens ik ook mijn vrienden te bedanken. Zij hebben het schrijven aangenamer gemaakt door samen met mij aanwezig te zijn in de bibliotheek van de universiteit Hasselt.

Samenvatting

De verschuiving van het klassieke retail systeem naar e-commerce zorgt voor een toenemend belang van de supply chain en zal hierop ook een druk uitoefenen door de evolutie van weinig, maar grote orders naar vele, maar kleine orders. De druk wordt nog eens verhoogd doordat orders verwerkt moeten worden in een zeer beperkte tijdsframe. Ook aan de aanbodzijde hebben zich de laatste jaren drastische verschuivingen voorgedaan. Zo zijn bedrijven onder andere overgeschakeld naar kleinere loten. Bovenstaande veranderingen aangaande vraag en aanbod zorgen dat meer druk op de supply chain wordt uitgeoefend. De supply chain moet niet enkel responsief zijn, maar ook kostenefficiënt. Een belangrijke kostenpost is het order picking proces, aangezien het ongeveer vijftig procent van de totale kosten in het magazijn omvat (Tompkins, 2003). De opzet van deze masterproef is bijgevolg inzicht te verkrijgen in de factoren die een invloed hebben op de efficiëntie van het order picking proces. De nadruk zal liggen bij de situatie van het bedrijf H. Essers. In een eerste fase komt een grondige literatuurstudie aan bod, gevolgd door een tweede fase waarin het praktijkonderzoek wordt besproken.

Omwille van de complexiteit van het onderwerp is besloten om bepaalde assumpties te maken. De gemaakte assumpties zorgen ervoor dat de grootte van het onderwerp wordt beperkt. Zo zal gefocust worden op order picking processen gesitueerd in een manueel magazijn bestaande uit één of meerdere blokken, met sort-while-pick als sorteringstechniek. Ook wordt een veronderstelling gemaakt omtrent de aankomsttijd van orders, namelijk statische order batching. Meer specifiek zullen de operationele beslissingen in het order picking proces worden onderzocht. Volgens de literatuur bestaan drie soorten operationele planningsproblemen: de toewijzing van producten aan een opslagplaats, de groepering van orders in batches en de routing van orderpickers doorheen het magazijn. In deze masterproef ligt de focus op de eerste en tweede activiteit.

In deelvraag 1 wordt een literatuurstudie uitgevoerd over het onderwerp order batching. Bij order batching worden drie verschillende algoritmen aangehaald, namelijk exacte algoritmen, heuristieken en metaheuristieken. De meeste aandacht in de studie zal gaan naar heuristieken. De redenen hiervoor zijn dat heuristieken vaak in de realiteit worden gebruikt en dat hiermee een bepaalde flexibiliteit gepaard gaat.

In deelvraag 2 wordt een literatuurstudie uitgevoerd over het onderwerp voorraad-toewijzingsmethoden. Bij het probleem van voorraad-toewijzing zullen eerst de verschillende voorraad-toewijzingsmethoden worden onderzocht, namelijk random opslag, toegewijde opslag, op familie gebaseerde opslag, op verkoopvolume gebaseerde opslag en op klasse gebaseerde opslag. De focus zal liggen bij op klasse-gebaseerde opslag, aangezien het bedrijf H. Essers graag de toepassing hiervan wil onderzoeken.

In de derde deelvraag zal een empirisch onderzoek plaatsvinden. In het empirisch onderzoek zal het effect van order batching en een nieuwe voorraad-toewijzingsmethode worden onderzocht. De afhankelijke variabele doorheen het experiment is de afgelegde afstand, daar de reistijd de meest tijdrovende activiteit is van alle componenten van order picking. De voorgestelde order batching methode is het algoritme gebaseerd op prioriteiten. De prioriteiten worden toegekend op First-Come-First-Served basis. De twee redenen voor de keuze van de order batching methode zijn het gebruiksgemak van het algoritme en de chronologische vereiste; alle binnenkomende orders moeten worden uitgevoerd op een chronologische wijze omwille van planningsredenen. De alternatieve voorraad-toewijzingsmethode is een combinatie van op klasse-gebaseerde opslag en voorraad-toewijzing op basis van gewicht. De empirische studie zal de bevindingen uit het theoretisch gedeelte van deze masterproef bevestigen, namelijk dat order batching en op klasse-gebaseerde toewijzing een significante vermindering in de af te leggen afstand teweeg brengen. Nadat de individuele effecten van de aanpassingen zijn onderzocht, zal nagekeken worden op een eventueel interactie-effect tussen order batching en de alternatieve voorraad-toewijzingsmethode. De deelvraag wordt afgesloten met een evaluatie van de praktische haalbaarheid van de voorgestelde aanpassingen.

Inhoudsopgave

VOORWOORD

SAMENVATTING

1. PROBLEEMSTELLING EN ONDERZOEKSOPZET	1
1.1 PROBLEEMSTELLING: OMSCHRIJVING EN SITUERING.....	1
1.1.1 <i>Maatschappelijke relevantie</i>	1
1.1.2 <i>Situering van order picking in de supply chain</i>	2
1.1.3 <i>Het belang van order picking in magazijnbeheer</i>	2
1.1.4 <i>Het order picking probleem onderverdelen</i>	4
1.2 ONDERZOEKSVRAGEN	4
1.3 ONDERZOEKSOPZET	11
1.3.1 <i>Aanpak van de literatuurstudie</i>	11
1.3.2 <i>Aanpak van het empirisch onderzoek</i>	11
2. LITERAATUURSTUDIE VAN ORDER BATCHING METHODEN	13
2.1 INLEIDING	13
2.2 MODEL FORMULERING	13
2.2.1 <i>Algemene model formulering</i>	13
2.2.2 <i>Mixed integer programming</i>	14
2.3 EXACTE OPLOSSINGSMETHODEN.....	14
2.3.1 <i>Branch-and-bound algoritme</i>	14
2.4 HEURISTIEKEN	16
2.4.1 <i>Algoritmen gebaseerd op prioriteiten</i>	16
2.4.2 <i>Seed algoritmen</i>	17
2.4.3 <i>Besparingsalgoritmen</i>	24
2.4.4 <i>Het vergelijken van besparingsalgoritmen en seed algoritmen</i>	26
2.4.5 <i>Data mining</i>	27
2.5 METAHEURISTIEKEN	28
2.5.1 <i>Algemene structuur metaheuristieken</i>	28
2.5.2 <i>De lokale verbeteringsprocedure</i>	29
2.5.3 <i>Aangepaste lokale verbeteringsprocedures</i>	30
2.6 CONCLUSIE EN LINK MET HET VOLGENDE HOOFDSTUK.....	32
3. LITERAATUURSTUDIE VAN DE VERSCHILLENDE VOORRAAD-TOEWIJZINGSMETHODEN.....	33
3.1 INLEIDING	33
3.2 RANDOM OPSLAG	33
3.3 TOEGEWIJDE OPSLAG.....	34
3.4 OP VERKOOPVOLUME GEBASEERDE OPSLAG	34
3.4.1 <i>Op Cube-Per-Order gebaseerde toewijzingsmethode</i>	35
3.5 OP FAMILIE GEBASEERDE OPSLAG	35
3.6 OP KLASSE GEBASEERDE OPSLAG	36
3.6.1 <i>Het aantal klassen</i>	36
3.6.2 <i>De klassenverdeling</i>	37
3.6.3 <i>De plaatsing van de klassen in het magazijn</i>	38
3.6.4 <i>Vergelijking van op klasse gebaseerde opslag met random opslag</i>	42
3.6.5 <i>Vergelijking van op klasse gebaseerde opslag met op verkoopvolume gebaseerde opslag</i>	43
3.7 SAMENWERKING TUSSEN ORDER BATCHING EN VOORRAAD-TOEWIJZINGSMETHODEN	44
3.8 CONCLUSIE EN LINK MET PRAKTIJKSTUDIE.....	45

4. WAT IS HET EFFECT VAN HET IMPLEMENTEREN VAN DE VERSCHILLENDE TECHNIEKEN BIJ HET BEDRIJF H. ESSERS?	47
4.2 ALGEMENE ASSUMPTIES EN LAY-OUT VAN HET MAGAZIJN	47
4.3 DE GEBRUIKTE ALGORITMEN	48
4.3.1 <i>Order batching algoritmen</i>	48
4.3.2 <i>Voorraad-toewijzingsmethoden van de producten</i>	49
4.3.3 <i>Routeringsalgoritme</i>	50
4.4 VERKLARING DATASET	51
4.4.1 <i>Itemmaster</i>	51
4.4.2 <i>Orderlijst</i>	52
4.4.3 <i>Stocklijst</i>	52
4.5 DEFINIËREN AFHANKELIJKE VARIABELE	53
4.6 EXPERIMENT	53
4.7 RESULTATEN	55
4.7.1 <i>Statistische analyse</i>	55
4.7.2 <i>Bespreking resultaten</i>	56
4.7.2.1 <i>Impact van een nieuwe voorraad-toewijzingsmethode</i>	56
4.7.2.2 <i>Impact van order batching</i>	57
4.7.2.3 <i>Impact van order batching & nieuwe voorraad-toewijzingsmethode</i>	59
4.7.2.4 <i>Interactie-effect tussen order batching en voorraad-toewijzingsmethoden</i>	60
4.8 KRITISCHE BEMERKINGEN	61
4.9 CONCLUSIE	64
5. ALGEMEEN BESLUIT	65
5.1 CONCLUSIE	65
5.2 BEPERKINGEN VAN HET ONDERZOEK	67
5.3 RICHTLIJNEN VOOR VERDER ONDERZOEK	68
LIJST VAN REFERENTIES	69
LIJST VAN FIGUREN	73
LIJST VAN TABELLEN	75

1. Probleemstelling en onderzoeksopzet

In de probleemstelling wordt een bedrijfseconomisch probleem ten gronde gelegd en geanalyseerd. In Sectie 1.1 wordt de maatschappelijke relevantie van het te onderzoeken probleem toegelicht en wordt het belang aangetoond van het efficiënter maken van order picking door middel van order batching of voorraad-toewijzingsmethoden. Verder wordt in Sectie 1.2 de centrale onderzoeksvraag opgebouwd; dit is de kern van het onderzoek. Aangezien de centrale onderzoeksvraag een te groot onderzoeksdomein omslaat om een wetenschappelijk onderbouwd antwoord te kunnen geven, wordt deze in een drietal deelvragen opgesplitst. Tot slot zal Sectie 1.3 de methodologische aspecten van het onderzoek specificeren.

1.1 Probleemstelling: omschrijving en situering

1.1.1 Maatschappelijke relevantie

De grondslag van deze masterproef is de verschuiving die zich momenteel afspeelt binnen het landschap van de detailhandel. Waar mensen vroeger aankopen deden bij een fysieke winkellocatie, het zogenaamde klassieke brick and mortar systeem, doen klanten nu een groot deel van de aankopen via online winkels, ook wel e-commerce genoemd. De focus van e-commerce ligt op de snelle levering van weinig producten op frequente basis aan een lage kost (Pan, Shih, & Wu, 2015). De Belgische e-commerce markt heeft in 2015 een groei gekend van 25% of 1,4 miljard euro in absolute cijfers (*Belgische e-commerce groeit met een kwart*, 2016). De groei wijst erop dat e-commerce een belangrijk gegeven is voor detailbedrijven. Bedrijven zullen met e-commerce moeten starten of de huidige e-commerce strategie verder moeten optimaliseren om te kunnen concurreren. Het basisprincipe van e-commerce bestaat erin dat fysieke winkelpunten worden vervangen door distributiecentra. De distributiecentra zijn gelegen op verschillende locaties en fungeren als leveringspunt van de goederen om van daaruit te verdelen naar de consument (Grit & de Geus, 2006). De groei van e-commerce zorgt voor een toenemend belang van distributiecentra en zal hierop ook een druk uitoefenen door de evolutie van weinig, maar grote orders naar vele, maar kleine orders. De druk wordt nog eens verhoogd doordat orders verwerkt moeten worden in een zeer beperkte tijdsframe. Ook aan aanbodzijde hebben zich de laatste jaren drastische verschuivingen voorgedaan, zo zijn bedrijven overgeschakeld naar kleinere loten, personaliseren van orders en product en verlaging van de cyclustijd. Bovenstaande veranderingen aangaande vraag en aanbod zorgen dat meer druk op de distributiecentra wordt uitgeoefend (De Koster, Le-Duc & Roodbergen, 2007).

Bedrijven met magazijnactiviteiten zullen aan distributiecentra een centrale ligging toekennen met betrekking tot het bedrijf zijn afzetmarkt. België, net zoals zijn buurlanden, ligt heel centraal in Europa. Het gevolg daarvan is dat België vooral de concurrentie met zijn buurlanden moet aangaan. De loonkost in een land is een bepalende factor aangezien magazijnactiviteiten zeer arbeidsintensief zijn (Henn, Koch, Doerner, Strauss, & Wäscher, 2010). België heeft één van de

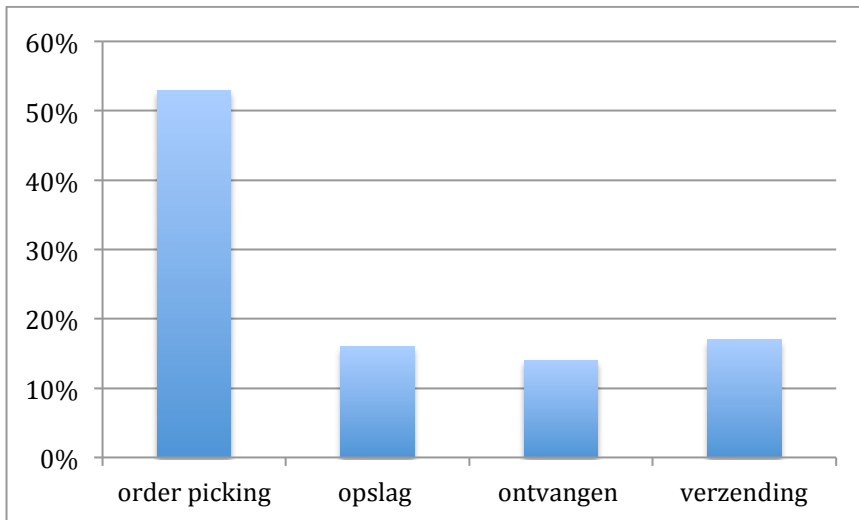
grootste loonkosten van Europa (*Tien Bulgaren voor één Belg*, 2015): de gemiddelde loonkost bedraagt hier 39,1 euro per uur terwijl het gemiddelde in Europa op 24,6 euro per uur ligt. Problematischer nog is dat België een hogere loonkost dan zijn buurlanden heeft. Aangezien het aanpassen van de loonkost niet in handen van de bedrijven ligt, zullen Belgische distributiecentra moeten trachten efficiënter te werken dan de buitenlandse distributiecentra. De focus hierbij zal liggen op order picking omdat order picking verantwoordelijk is voor 60% van de totale arbeidsactiviteiten in een magazijn (Gademann & Van De Velde, 2005). Hiernaast maakt order picking ook 65% uit van de totale operationele kost (Ho, Su, & Shi, 2008).

1.1.2 Situering van order picking in de supply chain

Order picking is het proces waarbij goederen worden opgehaald op een specifieke locatie in een distributiecentrum, om te voldoen aan een gegeven vraag door interne of externe orders van klanten (Petersen & Schmenner, 1999). De activiteit is ontstaan doordat inkomende producten in grote hoeveelheden worden ontvangen terwijl de klantenorders uit kleine hoeveelheden van verschillende producten bestaan. Order picking behoort tot het studiedomein magazijnbeheer, welk op zijn beurt een onderdeel is van supply chain management en logistiek. Order picking is bepalend voor de supply chain van een bedrijf, aangezien het onderpresteren hiervan resulteert in ontevreden klanten en hoge kosten (Henn, Sebastian, Koch, & Wäscher, 2012). Supply chain management is het beheer van materiaal, geld en informatiestromen, zowel intern als tussen externe partners (Thomas & Griffin, 1996). Logistiek is nauw verwant met Supply chain management. Volgens Waters (2003) is logistiek verantwoordelijk voor het transport en opslag van de producten tussen de leveranciers en klanten en voor de verplaatsing van de materialen naar operaties en naar klanten. In logistiek zijn de volgende activiteiten te onderscheiden: transport, voorraadbeheer, orderafhandeling en magazijnbeheer (Chen, Huang, Chen & Wu, 2005). Magazijnbeheer kan op zijn beurt omschreven worden als het geheel van activiteiten binnen een magazijn, gerelateerd aan de beweging van de goederen binnen het magazijn (Chen & Wu, 2005). De primaire activiteit binnen magazijnbeheer zijn volgens de auteurs het ontvangen en opslaan van goederen, order picking, sorteren en verzenden.

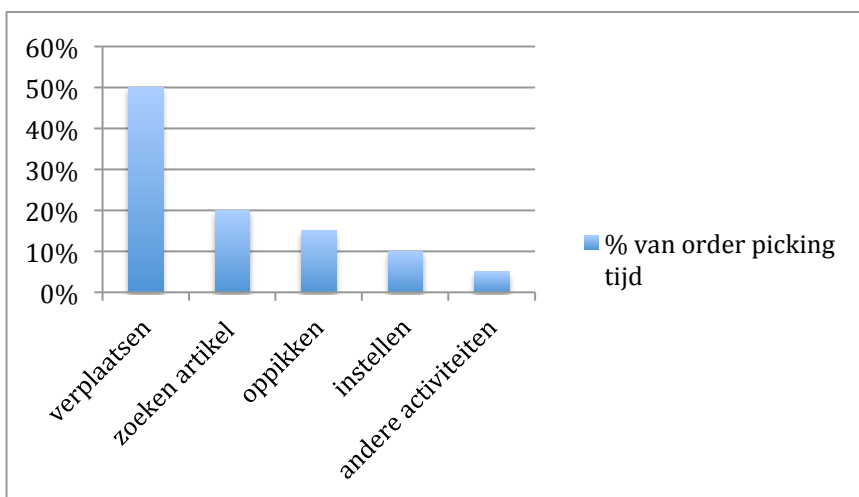
1.1.3 Het belang van order picking in magazijnbeheer

Volgens Waters (2003) bedragen de kosten van logistiek 15 tot 20% van de omzet van een bedrijf, waarbij de helft wordt besteed aan transport en de andere helft aan magazijnbeheer. Op Figuur 1 is te zien dat order picking op zijn beurt tot 50% van de totale magazijnkost bedraagt. De oorzaak van de grote omvang ligt in het feit dat order picking nog steeds een vooral manueel uitgevoerde activiteit is. De voorbije jaren zijn veel studies uitgevoerd aangaande het automatiseren van het proces. Ondanks veel inspanningen blijft de meerderheid van de magazijnen met manueel uitgevoerde order picking werken (Henn, Sebastian, Koch, & Wäscher, 2012).



Figuur 1: De kosten van magazijnbeheer opgesplitst naar activiteit (Tompkins et al., 2003)

De gependeerde tijd aan order picking is gebaseerd op de insteltijd van de routes, de benodigde reistijd voor het verzamelen van de gewenste producten, de zoektijd omtrent de identificatie van de producten en de tijd nodig voor het picken van de goederen (Tompkins, White, Bozer, Frazelle, & Tanchoco, 2003). Uit Figuur 2 is af te leiden dat van alle componenten de reistijd de meest tijdrovende activiteit is. De andere activiteiten zijn van ondergeschikt belang of geen ruimte voor verbetering is mogelijk (Henn, Sebastian, Koch, & Wäscher, 2012). Bij manuele systemen van order picking staat de reistijd in functie van de tourlengte. Hierdoor wordt in deze masterproef getracht de reistijd te minimaliseren door de totale af te leggen afstand te verminderen.



Figuur 2: Tijdsverdeling aangaande order picking (Tompkins et al., 2003)

1.1.4 Het order picking probleem onderverdelen

Bij order picking kunnen drie soorten operationele planningsproblemen onderscheiden worden: de toewijzing van producten aan een opslagplaats, de groepering van klantenorders in batches en de routing van orderpickers doorheen het magazijn. Bij deze masterproef ligt de focus op de eerste en tweede activiteit. Het begrip order batching duidt op het samenvoegen van verschillende orders in één pickronde. Uit een voorgaand onderzoek is gebleken dat order batching de efficiëntie in een magazijn significant kan verbeteren (de Koster, Roodbergen, & van Voorden, 1999). Het begrip voorraad-toewijzing is gericht op het verdelen van alle producten in het magazijn. In de literatuur zijn verschillende voorraad-toewijzingsmethoden te vinden, maar in deze masterproef wordt echter één bepaalde methode benadrukt, namelijk op klasse gebaseerde opslag. Distributiecentra zullen verschillende voordelen halen uit het implementeren van order batching en/of op klasse gebaseerde opslag. Zo kunnen de arbeidskosten dalen door een vermindering van de werktijd van orderpickers op een bepaalde hoeveelheid orders enerzijds en door een vermindering van het aantal overuren anderzijds (Henn, Sebastian, Koch, & Wäscher, 2012). Implementatie van order batching en/of op klasse-gebaseerde opslag zorgt met andere woorden voor een optimalisatie van het werkbestand. Een ander voordeel is de verbeterde service naar de klanten toe. De benodigde tijd om een order klaar te maken, is een onderdeel van het totale tijdsinterval van het plaatsen van de bestelling tot de levering ervan bij de klant. Door de reistijd van orderpickers te verkorten, zal het totale tijdsinterval verkleinen, hetgeen een meerwaarde voor de klant oplevert aangezien hij zijn order sneller in bezit zal hebben.

Het doel van deze masterproef is het bestuderen van de effecten van verschillende methoden van order batching op het proces van order picking, evenals het effect van het implementeren van voorraad-toewijzingsmethoden. Deze masterproef gaat verder dan de bestaande literatuur door het onderzoeken van de interactie tussen order batching en voorraad-toewijzingsmethoden. De meeste wetenschappelijke artikelen onderzoeken order batching en voorraad-toewijzingsmethoden afzonderlijk, terwijl het mogelijk is dat de twee maatregelen elkaar versterken of net niet. In andere woorden betekent het dat de meeste artikelen ernaar toe streven om één van de drie processen lokaal te optimaliseren, terwijl deze masterproef tracht een globaal optimum te bereiken.

1.2 Onderzoeksvragen

Uit de probleemstelling kan worden opgemaakt dat een efficiënter proces van order picking belangrijk is voor ondernemingen. Op basis hiervan is de volgende centrale onderzoeksvraag opgesteld: *Hoe kan het order picking proces bij H. Essers verbeterd worden door een juiste combinatie van order batching en voorraad-toewijzingsmethoden?*

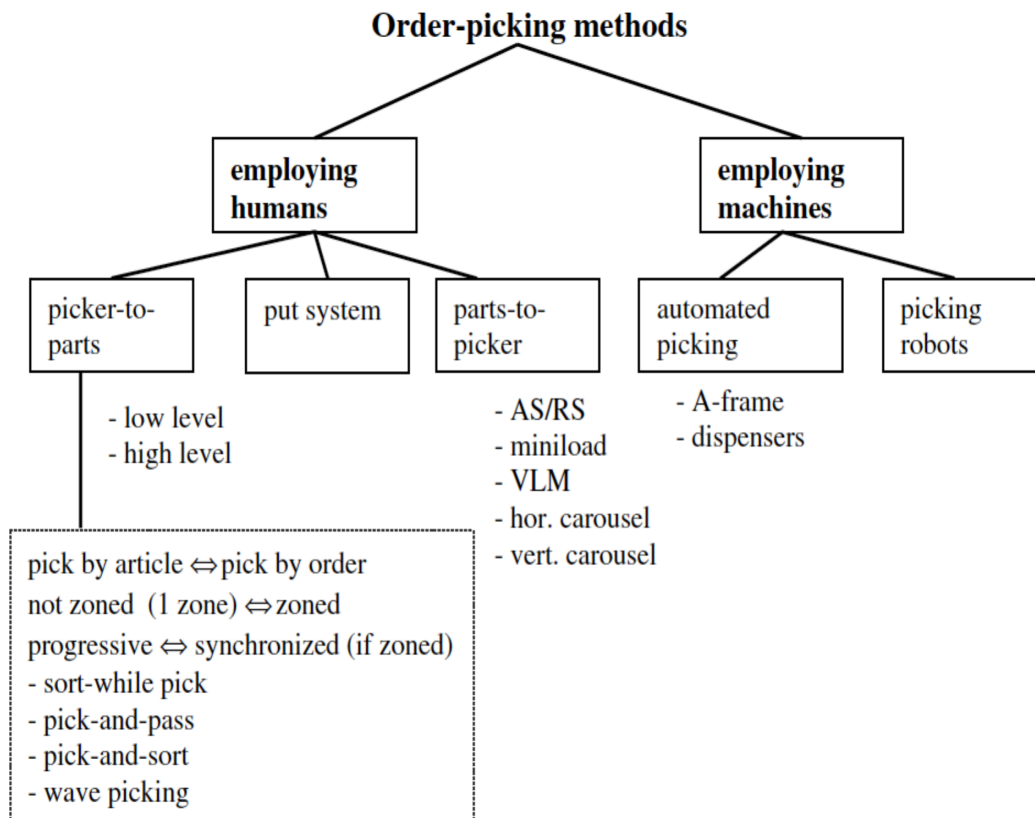
In deze masterproef wordt efficiëntie gedefinieerd als een begrip uit de operationele context: een zo groot mogelijke output creëren met het verbruik van zo weinig mogelijk input en bijgevolg aan een zo laag mogelijke kost (Jacobs & Chase, 2014). Binnen de context van distributiecentra kan

efficiëntie geïnterpreteerd worden als het uitvoeren van het maximaal aantal orderopdrachten met een minimaal aantal orderpickers. Om dit mogelijk te maken is het noodzakelijk om de afgelegde afstand van orderpickers te minimaliseren.

Teneinde een zo volledig mogelijk antwoord te geven op de centrale onderzoeksvraag, wordt deze in een aantal deelvragen opgesplitst. Na een eerste kennismaking met de literatuur zijn een aantal interessante deelaspecten aan het licht gekomen. De deelaspecten zullen helpen bij het formuleren van een gefundeerd antwoord op de centrale onderzoeksvraag.

Deelvraag 1: Welke methoden van order batching zijn reeds in de literatuur onderzocht ?

In de literatuur zijn tientallen verschillende methoden van order batching terug te vinden. De vele methoden van order batching zijn niet allemaal toepasbaar op het gegeven probleem bij H. Essers. Hierdoor is het nodig om het onderzoekdomein in te perken door middel van het maken van bepaalde veronderstellingen. De gemaakte veronderstellingen worden hieronder omschreven door middel van Figuur 3. Op de figuur wordt een eerste onderscheid gemaakt tussen het gebruik van mensen en machines. Deze masterproef zal focussen op order picking uitgevoerd door mensen, aangezien dat de gebruikte methode bij het bedrijf H. Essers is. Bij manuele systemen van order picking kunnen drie categorieën onderscheiden worden (Henn & Wäscher, 2012). Tot de eerste categorie behoren de picker-to-part systemen, waarbij orderpickers door het magazijn rijden of wandelen en de gevraagde producten verzamelen. Een tweede categorie zijn de parts-to-picker systemen, waarbij geautomatiseerde opslag en verzamelssystemen producten aan orderpickers leveren. Een laatste categorie zijn de putsystemen, waarbij in de eerste stap producten van een groot aantal orders door middel van een part-to-picker systeem of een picker-to-part systeem worden verzameld. De verzamelde producten worden daarna door een orderpicker over de verschillende orders verdeeld. Deze masterproef zal focussen op picker-to-part systemen omwille van twee redenen. Volgens de Koster, Le-Duc en Roodbergen (2007) zijn meer dan 80% van alle order picking systemen in West-Europa picker-to-part systemen en een andere reden is dat het bedrijf H. Essers gebruikmaakt van het picker-to-part systeem. Een andere gemaakte veronderstelling betreft het gebruik van sort-while-pick. Sort-while-pick wil zeggen dat alle producten tijdens het verzamelen worden gesorteerd, hetgeen de huidige manier van werken bij het bedrijf H. Essers is. Een laatste gemaakte veronderstelling is omtrent de aankomsttijd van orders. In de literatuur is sprake van twee verschillende aankomsttijden van orders, namelijk statische order batching en dynamische order batching. Bij statische order batching zijn alle klantenorders en alle kenmerken van de klantenorders op voorhand gekend. Bij dynamische order batching is dat niet het geval: hierbij arriveren klantenorders stochastisch doorheen de tijd. In deze masterproef wordt statistische order batching onderzocht aangezien bij H. Essers alle orders op voorhand gekend zijn. Meer specifiek, alle orders komen in de namiddag binnen en op basis daarvan wordt een order picking schema opgesteld.



Figuur 3: Classificatie van de systemen van order picking (De Koster, 2004)

Nadat het onderzoeksdomein van order batching is ingeperkt zullen de verschillende soorten order batching methoden worden uitgelegd. Order batching algoritmen kunnen worden opgedeeld in drie categorieën, namelijk exacte oplossingsmethoden, heuristieken en metaheuristieken. Exacte oplossingsmethoden zijn zeer krachtige algoritmen voor het oplossen van problemen met een klein aantal te vormen batches. Eenmaal dat het probleem complexer wordt, stijgt de rekentijd exponentieel en moeten te veel assumpties gemaakt worden. Een eerste exacte oplossingsmethode is het branch-and-bound algoritme. Het algoritme is ontwikkeld door Gademann, Van Den Berg en Van Der Hoff (2001) en laat toe optimale oplossingen te berekenen voor een klein aantal klantenorders waarbij de maximale reistijd wordt geminimaliseerd voor alle orders gecombineerd in batches. In het geval dat een groot aantal klantenorders geoptimaliseerd moet worden, is het gebruik van heuristieken onvermijdelijk. Volgens de definitie genereert een heuristiek een toegelaten oplossing, maar de gegenereerde oplossing is niet noodzakelijk de optimale oplossing (Hillier & Lieberman, 2015). De literatuur bespreekt verschillende soorten heuristieken van order batching. Seed algoritmen zijn een eerste soort heuristiek, geïntroduceerd door Elsayed (1981). Het algoritme is opgebouwd uit twee stappen: een seed selectie fase en een order congruentie fase. Bij de seed selectie fase wordt een initieel order geselecteerd voor de net gecreëerde batch, ook wel het seed order genoemd (Hanne, Koch & Wäscher, 2012). Bij de order congruentie fase worden niet toegekende orders toegevoegd bij het seed order totdat de capaciteit van het picking-voertuig bereikt is. Een tweede soort heuristiek zijn algoritmen gebaseerd op prioriteiten. Het algoritme bestaat uit twee stappen: allereerst wordt een prioriteit aan alle orders toegekend en ten tweede worden de orders overeenstemmend met de toegekende prioriteiten

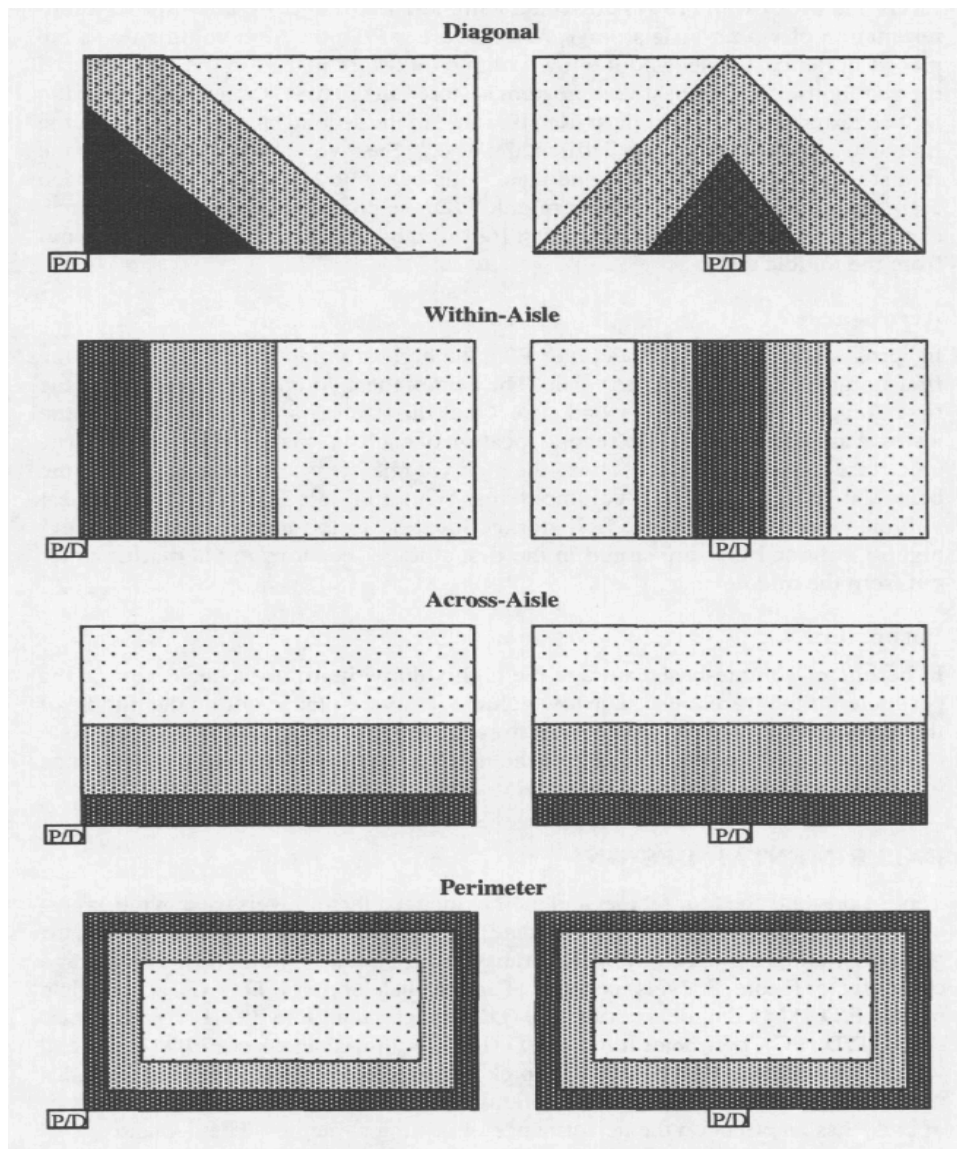
toegekend aan de verschillende klantenorders (Wäscher, 2004). Een derde soort heuristiek is het besparingsalgoritme, gebaseerd op het Clarke-en-Wright algoritme. Het achterliggende principe zijn de te realiseren besparingen door het combineren van twee orders in één route (Koster, Van der Poort & Wolters, 1999). Een laatste soort heuristiek is geïntroduceerd door Chen en Wu (2005), de auteurs beschrijven een algoritme gebaseerd op data mining en integer programmeren. Bij het algoritme worden eerst de gelijkenissen tussen elk orderpaar bepaald. In de tweede stap worden orderparen met een grote verbondenheid via integer programmeren toegewezen aan batches. Voor bepaalde problemen is het onmogelijk om op basis van de huidige heuristieken een optimale oplossing te vinden, hetgeen ervoor heeft gezorgd dat metaheuristieken zijn ontwikkeld. Een metaheuristiek voorziet een algemene structuur en een strategische handleiding voor het ontwikkelen van een specifieke heuristiek voor bepaalde soorten problemen. Het verschil tussen heuristieken en metaheuristieken is dat heuristieken enkel verbeteringen in de doelfunctiewaarde accepteren als nieuwe oplossing. In tegenstelling tot metaheuristieken, waarbij ook verslechtingen in de doelfunctiewaarde geaccepteerd worden (Hillier & Lieberman, 2015). In de literatuur zijn een groot aantal metaheuristieken te vinden. Het is onmogelijk om alle metaheuristieken op te sommen en te verklaren. In deze masterproef worden slechts de belangrijkste metaheuristieken aangehaald.

Deelvraag 2: Welke methoden van voorraad-toewijzing werden reeds in de literatuur onderzocht?

In de literatuur worden vijf vaak gebruikte methoden van voorraad-toewijzing beschreven: random opslag, toegewijde opslag, op familie gebaseerde opslag, op verkoopvolume gebaseerde opslag en op klasse gebaseerde opslag (De koster, Le-Duc, & Roodbergen, 2007). Bij random opslag zal een inkomend product toegewezen worden aan een opslaglocatie op een willekeurige basis. Bij toekenning op willekeurige basis worden aan alle geschikte lege opslaglocaties een gelijke kans toegekend. Random opslag is de makkelijkste methode om te implementeren. Een andere mogelijkheid van stockeren is toegewijde opslag. Bij toegewijde opslag wordt elk product aan een vaste opslaglocatie toegewezen. Een voordeel van toegewijde opslag is dat gewinning ontstaat bij orderpickers omtrent de plaats van producten in het magazijn. Dat kan ervoor zorgen dat de productiviteit stijgt. Een derde opslagmethode is op verkoopvolume gebaseerde opslag. Bij op verkoopvolume gebaseerde opslag worden producten op basis van omzet of verkoopvolume verspreid. Met andere woorden, de producten met de hoogste verkoopcijfers zullen op locaties dichtbij het depot worden geplaatst. Een vierde voorraad-toewijzingsmethode is op familie baseerde opslag. Hierbij worden overeenkomstige producten in dezelfde omgeving in het magazijn geplaatst (De koster, Le-Duc, & Roodbergen, 2007). Een overeenkomst kan gebaseerd zijn op het producttype, op producteigenschappen of op een combinatie van beide (Hausman, Schwarz & Graves, 1976). De laatste en belangrijkste voorraad-toewijzingsmethode is op klasse gebaseerde opslag. Aangezien het samenwerkende bedrijf graag een toepassing ziet van op klasse gebaseerde opslag, zal de methode hier uitgebreid uitgelegd worden.

Op klasse gebaseerde opslag is een variant van op verkoopvolume gebaseerde opslag. Bij op klasse gebaseerde opslag zullen producten in klassen worden onderverdeeld op basis van de Pareto methode. Bij de Pareto methode worden producten in klassen gegroepeerd zodat de snel

bewegende producten ongeveer 15% van de totale oppervlakte in beslag nemen terwijl de producten voor 85 % van de omzet instaan, ook wel klasse A-producten genoemd. De volgende klasse wordt klasse B-producten genoemd, enzovoort. Klasse A-producten worden zo dicht mogelijk bij het depot geplaatst om de verzameltijd te verminderen. De verschillende klassen worden daarna aan specifieke plaatsen in het magazijn toegewezen. De opslag in een klasse gebeurt random (De Koster, Le-Duc & Roodbergen, 2007). Bij het gebruik van op klasse gebaseerde opslag moeten drie factoren bepaald worden: het aantal klassen, de klassenverdeling en de plaatsing van de klassen in het magazijn. Eerst zal de factor het aantal klassen besproken worden. In de meeste gevallen wordt het aantal klassen tot drie beperkt, waarbij vaak wordt gesproken van ABC-classificatie (Rao & Adil, 2013). De reden hiervoor is dat bij een verhoging van het aantal klassen, de ruimtebehoefte mee stijgt, dat wil zeggen dat voldoende lege opslaglocaties voorhanden moeten zijn zodat alle inkomende producten in een juiste klasse kunnen geplaatst worden (Graves, Hausman & Schwarz, 1977). Een tweede te bepalen factor is de klassenverdeling. Een klassenverdeling staat voor het procentueel aantal producten dat in de eerste klasse wordt geplaatst tegenover het procentueel aantal producten in de resterende klassen. Zo betekent een klassenverdeling van 30-70 dat de 30% beste producten op basis van verkoopvolume in de eerste klasse worden geplaatst en de andere 70% van de producten in de resterende klassen. Een laatste te bepalen factor is de plaatsing van de klassen in het magazijn. De klassen van producten kunnen op verschillende manieren in het magazijn worden geïmplementeerd. De verschillende methoden van plaatsing zullen aan de hand van Figuur 4 worden uitgelegd. Bij diagonale opslag worden de producten in een diagonaal patroon opgeslagen. De klasse A-producten worden dichtbij het depot geplaatst en de klasse C-producten worden zo ver mogelijk van het depot geplaatst (Petersen & Schmenner, 1999). Bij Within-Aisle zullen de klasse A-producten in de pickgangen dichtbij het depot geplaatst worden en de klasse C-producten in de pickgangen veraf van het depot. Een pickgang zal specifiek aan één specifieke klasse worden toegewezen (Petersen & Schmenner, 1999). Bij Across-Aisle worden de klasse A-producten in de eerste opslaglocaties van de pickgangen geplaatst, de klasse B-producten worden in de opslaglocaties achter de klasse A-producten geplaatst, enzovoort. Bij de perimeter methode worden de klasse A-producten rond een perimeter geplaatst. De klasse C-producten worden in het midden van de pickgangen geplaatst (Petersen & Schmenner, 1999).



Figuur 4: Varianten van op verkoopvolume gebaseerde opslag (Petersen & Schmenner, 1999)

Deelvraag 3: Wat is het effect van het implementeren van de verschillende technieken bij het bedrijf H. Essers?

In deze masterproef wordt zowel een literatuurstudie als een empirisch onderzoek uitgevoerd. In de wetenschappelijke literatuur worden verschillende methoden aangereikt om het proces van order picking efficiënter te maken. In het empirische deel van de masterproef wordt enerzijds gekeken naar het effect van het implementeren van order batching bij het opstellen van een pickroute en anderzijds naar het effect van het implementeren van verschillende voorraadtoewijzingsmethoden. Het effect van het implementeren wordt geëvalueerd door middel van de afgelegde afstand. Bij het kritisch reflecteren van het gedane empirisch onderzoek zal nagedacht worden over het effect op de parameter betrouwbaarheid. De minimale foutenmarge is zeer belangrijk voor het samenwerkend bedrijf aangezien H. Essers betrouwbaarheid als kernwaarde beschouwt, wat tevens ook door de klant Ecolab geëist wordt. De foutenmarge bedraagt momenteel ongeveer 99,70%.

Bij de uitvoering van de empirie zal nauw samengewerkt worden met H. Essers. Daarom is een korte algemene voorstelling van het bedrijf nodig. H. Essers is een groeiend bedrijf dat zijn oorsprong in Limburg kent en dat tegenwoordig over heel Europa verspreid is. Het bedrijf levert verscheidene diensten aan zijn klanten, namelijk transport, magazijnbeheer, allerlei randactiviteiten en expeditie van goederen. H. Essers levert zijn diensten aan bedrijven actief in verschillende sectoren. De belangrijkste sectoren zijn de hoogwaardige, farmaceutische goederen en de chemie. Deze masterproef zal vooral de laatste categorie van producten behandelen. Het magazijn dat onderzocht wordt, is gelegen te Winterslag, waar hoofdzakelijk de goederen van Ecolab worden behandeld. Het Amerikaans beursgenoteerd bedrijf is gespecialiseerd in de voorziening van water, hygiëne en energie technologie (<http://www.ecolab.com>). Het magazijnsysteem in Winterslag is helemaal aan de noden van Ecolab aangepast. Zo heeft het een directe verbinding met het SAP-systeem van Ecolab. Hier worden zowel verschillende soorten chemische producten als medische apparaten gestockeerd. De aanwezigheid van chemische producten zorgt voor bijkomende moeilijkheden zoals in de eerste plaats de speciale regelgeving aangaande het opslaan en behandelen van chemische producten. Zo zullen in het magazijn bij de ontvlambare stoffen speciale sproeisystemen moeten worden voorzien. Het is ook vereist dat de base stoffen d.m.v. het plaatsen van bufferzones van de zure stoffen gescheiden worden. In de studie zal met een groot aantal restricties rekening gehouden moeten worden. De betreffende magazijnhal heeft een grootte van 53.000 vierkante meter en heeft een gemiddelde opslagcapaciteit van 47.000 paletten. Het magazijn is opgesplitst in twee delen: een voor distributie uitsluitend naar Duitsland en een ander voor distributie voornamelijk naar de Benelux, maar ook wereldwijd. In Bijlage 2 wordt een overzicht van het betreffende magazijn weergegeven.

1.3 Onderzoeksopzet

Het onderzoek zal vanuit twee invalshoeken benaderd worden. Enerzijds zal vanuit de literatuurstudie een theoretisch kader worden geschetst, hetgeen wordt aangevuld door een empirische analyse.

1.3.1 Aanpak van de literatuurstudie

Aangezien al uitgebreid wetenschappelijk onderzoek verricht is naar het verhogen van de efficiëntie van order picking, zal in deze masterproef eerst een literatuurstudie worden verricht waarin de bestaande wetenschappelijke literatuur geanalyseerd wordt. De onderzoeken van Henn, Koch en Wäscher (2012) en Ho, Su en Shi (2008) hebben als basis voor de verkennende literatuurstudie gediend. De referentielijst van de twee artikels waren een aanvullende hulp bij de zoektocht naar andere relevante artikels. De uitgevoerde literatuurstudie zal helpen bij het beantwoorden van de eerste en tweede deelvraag.

In het onderzoek zullen tertiaire bronnen gebruikt worden. Voorbeelden hiervan zijn de catalogi van de bibliotheek van de Universiteit Hasselt, database EBSCOhost, Google Scholar en literatuurlijsten in artikels en boeken volgens de sneeuwbalmethode. Om nuttige artikels te selecteren, worden onder andere volgende trefwoorden gebruikt: order batching, batching, warehouse, order picking, storage location assignment en class based storage.

De masterproef is uitsluitend samengesteld uit wetenschappelijke informatie. Hierdoor zullen enkel peer-reviewed artikels gebruikt worden, waardoor de bevindingen objectief en veralgemeenbaar zullen zijn. Om een volledig beeld van het onderzoeksveld te krijgen, werden zowel belangrijke, oude werken als recente werken bestudeerd.

1.3.2 Aanpak van het empirisch onderzoek

Van zodra voldoende theoretische onderbouwing aanwezig is, kan tot het empirisch onderzoek overgegaan worden. Dat zal bestaan uit het evalueren van de situatie met order batching en alternatieve voorraad-toewijzingsmethode tegenover de situatie zonder order batching en huidige voorraad-toewijzingsmethode. De basis van de evaluatie is een reële dataset met order picking gegevens voor de periode November 2016, een stocklijst van de bijhorende periode en een itemmaster met informatie over alle producten. De in de literatuurstudie aangehaalde order batching en voorraad-toewijzingsmethoden zullen als aanvulling dienen bij het onderzoeken van de verschillende methoden van order picking. De evaluatie van de huidige en nieuwe situatie zullen door middel van Excel worden uitgevoerd. H. Essers zal een aantal keer bezocht worden en bijkomend zal het bedrijf gedurende een drietal weken geobserveerd worden. Het doel is de huidige problematiek en het huidige proces van order picking beter te kunnen interpreteren.

De huidige methode van order picking bij het bedrijf, houdt in dat een orderpicker zijn ronde doet met een vorkheftruc met plaats voor twee paletten. In het huidige systeem is één plaats gebruikt voor lege paletten, de andere plaats wordt bezet door een palet waarop de verzamelde producten

2. Literatuurstudie van order batching methoden

2.1 Inleiding

In de literatuur worden vele order batching methoden aangereikt voor verschillende omstandigheden. Deelvraag 1 tracht een schematisch overzicht te geven van de meest relevante order batching methoden. In Sectie 2.2 wordt door formulering het probleem beschreven. Daarna wordt in Sectie 2.3 een exacte oplossingsmethode uitgelegd. In de reële wereld dienen grote, complexe problemen opgelost te worden. Exacte oplossingsmethoden zullen te veel rekentijd vergen, hierdoor zullen heuristieken trachten de exacte oplossing te benaderen zodat de rekentijd drastisch wordt verlaagd. In Sectie 2.4 worden de meest relevante heuristieken uitgelegd, geselecteerd uit talloze heuristieken uit de literatuur. Deelvraag 1 wordt beëindigd met Sectie 2.5 waarin metaheuristieken worden uitgelegd.

2.2 Model formulering

Bij model formulering wordt een mathematisch model gevormd dat de essentie van het probleem voorstelt. Een model formulering is opgebouwd uit een doelfunctie en beperkingen. In de doelfunctie wordt een minimalisatie of maximalisatie uitgevoerd. Bij het probleem van order batching zal de doelfunctie trachten om de picklengte of de picktijd te minimaliseren. Beperkingen zorgen voor de begrenzing van een model formulering. De keuze van de soorten beperkingen is afhankelijk van de situatie. Zo is het in bepaalde situaties belangrijk dat het aantal te verzamelen producten wordt beperkt terwijl in andere situaties het gewicht van de te verzamelen producten wordt beperkt (Hillier & Lieberman, 2015).

2.2.1 Algemene model formulering

Een eerste algemene model formulering voor het order batching probleem is gevormd door Gademann en Van de Velde (2005).

De doelfunctie kan omschreven worden als volgt:

$$\text{Min } \sum_{i \in I} D_i * X_i \quad (1)$$

Het doel is om de tourlengte van de gekozen batches te minimaliseren. Daarbuiten zijn ook een aantal beperkingen nodig

$$\sum_{i \in I} A_{ij} * X_i = 1 \quad \forall j \in J; \quad (2)$$

$$\sum_{j \in J} C_j * A_{ij} \leq C \quad \forall i \in I; \quad (3)$$

$$X_i \in (0,1) \quad \forall i \in I; \quad (4)$$

In de model formulering zijn een aantal parameters gebruikt, de parameters zullen worden uitgelegd vooraleer een interpretatie wordt gegeven van de beperkingen. Een eerste parameter D_i staat voor de afstand van een picking toer waarbij alle orders van batch i worden verzameld.

Parameter C staat voor de capaciteit van het picking-voertuig, terwijl parameter C_j voor de benodigde capaciteit van het order j staat. Een nadeel bij de algemene model formulering stroomt voort uit parameter X_i en A_{ij} . Parameter X_i bepaalt of een gecreëerde batch wordt verzameld of niet. Het niet verzamelen van bepaalde batches is geen geschikte manier van werken voor veel bedrijven, aangezien alle orders verzameld moeten worden. Een tweede nadeel is dat parameter A_{ij} op voorhand bepaald moet worden. Parameter A_i definieert of klantenorder j ($j \in J$) is toegevoegd aan batch i of niet. De gebruiker van de model formulering moet dus op voorhand voor alle klantenorders bepalen of het order wordt toegevoegd aan batch i of niet. Voor een klein aantal orders is de werkwijze mogelijk, maar voor een groot aantal orders is het een te complexe manier van werken. Beperking twee en vier zorgen gezamenlijk ervoor dat een set van batches wordt opgesteld zodat elk klantenorder in exact één batch zit. Beperking drie zorgt dat de capaciteit van het picking-voertuig niet wordt overschreven.

2.2.2 Mixed integer programming

Een tweede model formulering is het model van Bozer en Kile (2008). Het model is alleen toepasbaar indien voldaan wordt aan een drietal voorwaarden. Een eerste en zeer beperkende voorwaarde is dat het magazijn bestaat uit één blok met een even aantal pickgangen. Een tweede voorwaarde is dat omkeren in de pickgangen niet is toegelaten. Een derde voorwaarde is dat alleen maar S-shape routingsmethode is toegestaan. Door de vele beperkingen is MIP niet toepasbaar bij het probleem van H. Essers. Hierdoor zal niet verder ingegaan worden in het model.

2.3 Exacte oplossingsmethoden

Exacte oplossingsmethoden zorgen ervoor dat de model formulering uit Sectie 2.2 exact kan opgelost worden. In Sectie 2.3 zal de werkwijze van de meest bekende oplossingsmethode worden uitgelegd. Het is belangrijk om op te merken dat het aantal beslissingsvariabelen exponentieel stijgt met aantal klantenorders. Hierdoor zijn exacte oplossingsmethoden alleen maar toepasbaar op problemen met een laag aantal orders.

2.3.1 Branch-and-bound algoritme

De achterliggende gedachte bij het branch-and bound algoritme is dat het probleem wordt onderverdeeld in kleine deelproblemen en dat de deelproblemen dan afzonderlijk worden opgelost. Door het toepassen van werkwijze kan een groot probleem op een eenvoudige manier worden opgelost. Het onderverdelen gaat als volgt: eerst wordt het originele probleem opgedeeld in kleine deelproblemen. De deelproblemen worden ook weer onderverdeeld, enzovoort. Het onderverdelen van het originele probleem stopt wanneer een oplossing op een relatief eenvoudige manier kan bekomen worden. Het oplossen van de deelproblemen gaat als volgt te werk: voor elk deelprobleem worden de grenzen bepaald waarin de beste oplossing kan gesitueerd zijn. Hierna worden de deelproblemen verwijderd waarbij de grenzen aangeven dat een optimale oplossing niet past in het initiële probleem. Hierna worden de overblijvende deelproblemen opgelost. Bij deze

manier van werken moeten maar een klein aantal deelproblemen worden opgelost (Hillier & Lieberman, 2015).

Gademann, Van Den Berg en Van Der Hoff (2001) hebben een branch-and-bound algoritme ontwikkeld voor het exact oplossen van situaties waar de maximale reistijd wordt geminimaliseerd voor alle orders gecombineerd in batches. Een assumptie is dat elke batch dezelfde hoeveelheid van orders bevat. De auteurs starten met het berekenen van bovengrenzen voor het Branch-and-bound algoritme vooraleer het eigenlijke branch-and-bound algoritme wordt uitgevoerd. Door het berekenen van bovengrenzen kunnen een aantal deelproblemen worden geschrapt. Als gevolg moeten minder deelproblemen worden nagekeken en zal de nodige rekentijd afnemen. Het berekenen van de bovengrenzen gebeurt met de 2-opt procedure. De 2-opt procedure vertrekt vanuit een initiële oplossing. De initiële oplossing wordt bekomen door orders willekeurig aan batches toe te wijzen. Na het definiëren van een initiële oplossing, wordt de bottleneck batch hierin gezocht. De bottleneck batch is de batch met de langste reisafstand. Indien een betere oplossing dient bekomen te worden zal de bottleneck batch moeten worden aangepast. Het vinden van een betere oplossing gebeurt door willekeurig een order uit de bottleneck batch te verwisselen met een order uit de overige batches. In het geval dat een betere reisafstand wordt bekomen, zal de batchsamenstelling worden geaccepteerd en indien geen beter reisafstand wordt bekomen zal een nieuw paar van orders worden verwisseld. Het verwisselen van orderparen gebeurt totdat een betere reisafstand wordt bekomen. Na het bekomen van een nieuwe batchsamenstelling zal een nieuwe bottleneck batch worden gezocht. De 2-opt procedure wordt herhaald totdat geen betere oplossing kan gevonden worden. De procedure kan worden uitgevoerd voor verschillende initiële oplossingen. De best bekomen oplossing wordt als initiële bovengrens genomen. Indien het Branch-and-bound algoritme zonder het berekenen van een bovengrens zou worden toegepast, dan stijgt de rekentijd exponentieel met het aantal orders (Gademann, Van Den Berg & Van Der Hoff, 2001).

2.4 Heuristieken

In Sectie 2.4 worden de meest gebruikte heuristieken uitgelegd. Een heuristiek benadert de optimale oplossing. In de praktijk worden heuristieken vaker gebruikt dan exacte algoritmes. De redenen hiervoor zijn de flexibiliteit, het gemak in berekeningen en de verminderde rekentijd.

2.4.1 Algoritmen gebaseerd op prioriteiten

Algoritmen gebaseerd op prioriteiten bestaan uit twee stappen. In de eerste stap worden prioriteiten toegekend aan de verschillende klantenorders. In de tweede stap worden de klantenorders overeenstemmend met de toegekende prioriteiten toegekend aan batches. Bij beide stappen dient rekeningen gehouden te worden met de capaciteitsbeperking (Henn, Koch & Wäscher, 2012).

Algemeen principe

Stap 1: Ken een prioriteit toe aan elk klantenorder

Stap 2: Sorteert alle orders volgens dalende prioriteit

Stap 3: Start met de eerste batch en ken de eerste order toe

Stap 4: Indien de eerste batch vol is, dient een volgende batch gestart te worden

Stap 5: Stap drie en vier dienen uitgevoerd te worden totdat alle orders zijn toegekend aan een batch

Bij de eerste stap van het algoritme dienen prioriteiten bepaald te worden voor elk klantenorder. Een eerste manier is de First-Come-First-Served regel. De FCFS regel is tevens de meest voorkomende en simpele methode. Bij de methode wordt de hoogste prioriteit toegekend aan de eerst inkomende orders en daalt de prioriteit van orders naarmate de orders later binnenkomen in het proces. De FCFS-methode resulteert in random batches, aangezien de klantenorders niet worden toegewezen door middel van een logische regel. Als gevolg worden geen goede resultaten van de methode verwacht. De resultaten worden wel vaak gebruikt als benchmark voor andere oplossingsmethoden. Ondanks de minder goede resultaten wordt de methode vaak gebruikt in de praktijk. De redenen hiervoor zijn het gebruiksgemak en dat in praktijk de eerst binnenkomende orders als eerste moeten worden uitgevoerd. Een meer gesofisticeerde manier voor het toekennen van prioriteiten is via de methode voorgesteld door Ruben en Jacobs (1999). Bij de methode worden klantenorders van groot naar klein gesorteerd via het principe van een order enveloppe. De enveloppe van een klantenorder is opgebouwd uit twee getallen. Het eerste getal komt overeen met het indexgetal van de te bezoeken pickgang, dichtstbijzijnde bij het depot. Het tweede getal komt overeen met het indexgetal van de te bezoeken pickgang, het verst gelegen van het depot.

Bij de derde stap van het algoritme worden de klantenorders toegekend aan batches. Het toekennen van klantenorders aan batches kan sequentieel of simultaan gebeuren. Bij het sequentieel toekennen van orders worden klantenorders achtereenvolgens toegewezen aan batches. Een regel hierop gebaseerd is de Next-Fit regel. Bij de regel wordt het order met de

hoogste prioriteit eerst toegewezen aan een batch, hierna het order met de tweede hoogste prioriteit, enzovoort. De klantenorders worden toegevoegd aan de batch zolang de capaciteit van het picking-voertuig niet wordt bereikt. Nadat de capaciteit van het picking-voertuig is bereikt, zal een nieuwe batch worden geopend. Bij het simultaan toekennen van klantenorders aan batches worden alle klantenorders gelijktijdig aan een batch toegewezen. De regels hierop gebaseerd zijn de First-Fit en Best-Fit regel. Bij de First-fit regel worden de batches eerst geïndexeerd in volgorde van creatie. Hierna worden klantenorders toegewezen aan de batch met de laagste index totdat geen resterende capaciteit aanwezig is. Daarna worden klantenorders toegewezen aan de batch met de tweede laagste index, enzovoort. Bij de best-fit regel worden orders eerst toegevoegd aan de batches met de laagst resterende capaciteit. Nadat de batches met een lage resterende capaciteit zijn opgevuld, worden de resterende batches opgevuld met orders.

2.4.2 Seed algoritmen

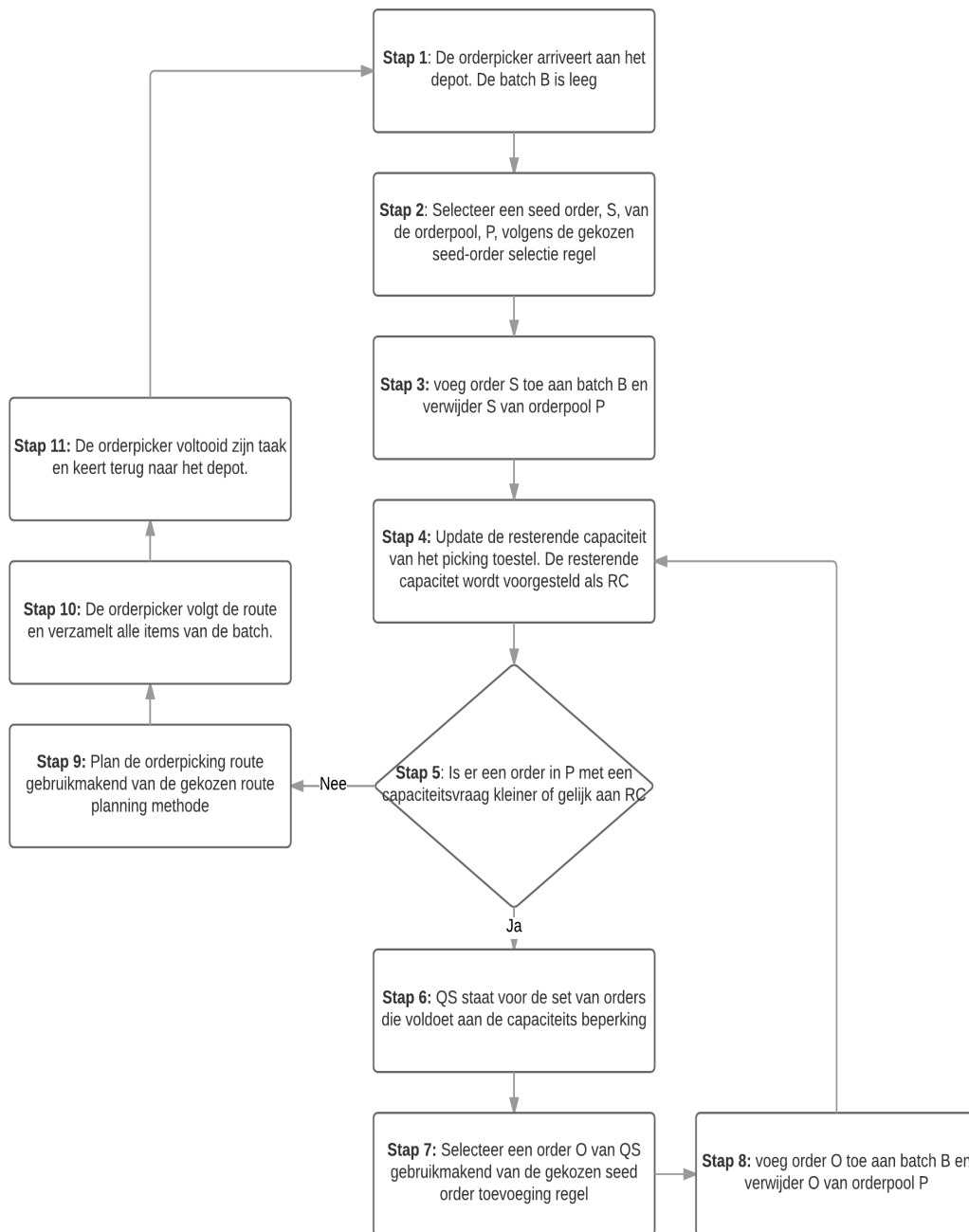
Het seed algoritme is voor het eerst geïntroduceerd door Elsayed (1981). Het algoritme is opgebouwd uit twee stappen: een seed selectie fase en een order congruentie fase.

Bij de seed selectie fase wordt een initieel order geselecteerd voor de net gecreëerde batch, ook wel het seed order genoemd (Hanne, Koch & Wäscher, 2012). Het kiezen van een seed order kan gebeuren via single mode, waarbij het seed order maar één keer wordt gekozen. Single mode heeft tot gevolg dat het seed order in een batch altijd het eerste order is. Een andere manier van werken is de cumulative mode, hierbij wordt het seed order altijd vernieuwd na het toevoegen van een klantenorder aan de batch. Cumulative mode heeft tot gevolg dat alle orders in de batch gedefinieerd zijn als seed order. Het verschil tussen beide methoden is dat bij single mode het initiële order in de batch gedurende de hele seed selectie fase het seed order is. In tegenstelling tot de cumulative mode waarbij het seed order telkens wordt geüpdatet na het toevoegen van een order aan de batch. Ondanks het verschil in complexiteit, is het verschil in prestatie tussen de cumulative seed mode en de single-seed mode niet significant.

Bij de order congruentie fase worden niet toegekende orders toegevoegd bij het seed order. Het toevoegen van orders zal doorgaan totdat de capaciteit van de picking-voertuig bereikt is. Het verloop van de order congruentie fase gebeurt volgens een seed order toevoeging regel (Koster, Van der Poort & Wolters, 1999). De regels bij de seed selectie fase en order congruentie fase worden opgedeeld aan de hand van manier van berekening; locatie-gebaseerde regels, oppervlakte-gebaseerde, afstand-gebaseerde en gang-gebaseerde regels (Ho et al., 2008)

Het algoritme

Het algoritme zal worden uitgelegd via Figuur 6, de figuur toont een flowchart gebaseerd op Ho en Tseng (2006). Eerst moeten de gebruikte variabelen worden gedefinieerd: een seed order wordt voorgesteld als S , de order pool als P , de batch van orders als B , de resterende capaciteit van het picking-voertuig als RC en de set orders wiens capaciteit kleiner of gelijk is aan RC wordt voorgesteld als QS .



Figuur 6: Flowchart van seed algoritmen (Ho & Tseng, 2006)

Seed selectie regels

De seed selectie regels bepalen op welke manier een initieel order wordt geselecteerd voor de net gecreëerde batch. Onderstaande regels worden opgedeeld aan de hand van berekeningswijze.

- *Random order*

Het seed order wordt willekeurige geselecteerd uit de set niet toegekende orders. De random order regel wordt vaak gebruikt in studies als benchmark voor de andere regels (Gibson & Sharp, 1992).

Locatie-gebaseerde regels

- *Kleinste (grootste) aantal opslaglocaties*

Van de set niet toegekende klantenorders wordt het order gekozen waarbij de orderpicker het kleinste (grootste) aantal opslaglocaties moet bezoeken voor alle producten van het klantenorder te verzamelen (Elsayed & Stern, 1983).

- *Kleinte (grootste) aantal producten*

Van de set niet toegekende klantenorders wordt het order met het kleinste (grootste) aantal producten gekozen (Elsayed & Stern, 1983).

Gang-gebaseerde regels

- *Kleinste (grootste) aantal pickgangen*

Van de set niet toegekende klantenorders wordt het order gekozen, waarbij de orderpicker het kleinste (grootste) aantal pickgangen moet bezoeken voor alle producten van het klantenorder te verzamelen (Ho & Tseng, 2006).

- *Kleinste (grootste) som van de gewichten van de pickgangen*

Van de set niet toegekende klantenorders wordt het order gekozen waarbij de som van de gewichten van de te betreden pickgangen minimaal (maximaal) is. De regel kan uitgedrukt worden met de volgende formule: $AWS(J) = \sum_{i=1}^I AW_i$

Hierbij staat $AWS(J)$ voor de som van de gewichten van de pickgangen en AW_i voor het gewicht van een pickgang. Het gewicht van een pickgang wordt, bepaald door zijn indexgetal. Het indexgetal wordt kleiner naarmate een pickgang dichterbij het depot gelegen is en wordt groter naarmate de afstand tot het depot stijgt (Ho & Tseng, 2006).

- *Laagste exponentiele som van de gewichten van de pickgangen*

Van de set niet toegekende klantenorders wordt het order gekozen waarbij de som van het gewogen gemiddelde van de te betreden pickgangen minimaal (maximaal) is. Het gewogen gemiddelde van een pickgang wordt net zoals bij de vorige regel, bepaald door zijn indexgetal. Met het verschil dat het gewicht exponentieel stijgt naarmate de index i stijgt. Het gewicht van een pickgang is hierdoor gelijk aan 2^i (Ho et al., 2008).

- *Order met het grootste gangenbereik*

Van de set niet toegekende klantenorders wordt het order gekozen met het grootste gangenbereik. Het gangenbereik is het absolute verschil tussen het indexgetal van de pickgang die betreedt moet worden voor het uitvoeren van een klantenorder dichtstbijzijnde bij het depot en de pickgang het verst gelegen van het depot (de Koster et al., 1999).

- *Kleinste (grootste) opslaglocatie-gangen rato*

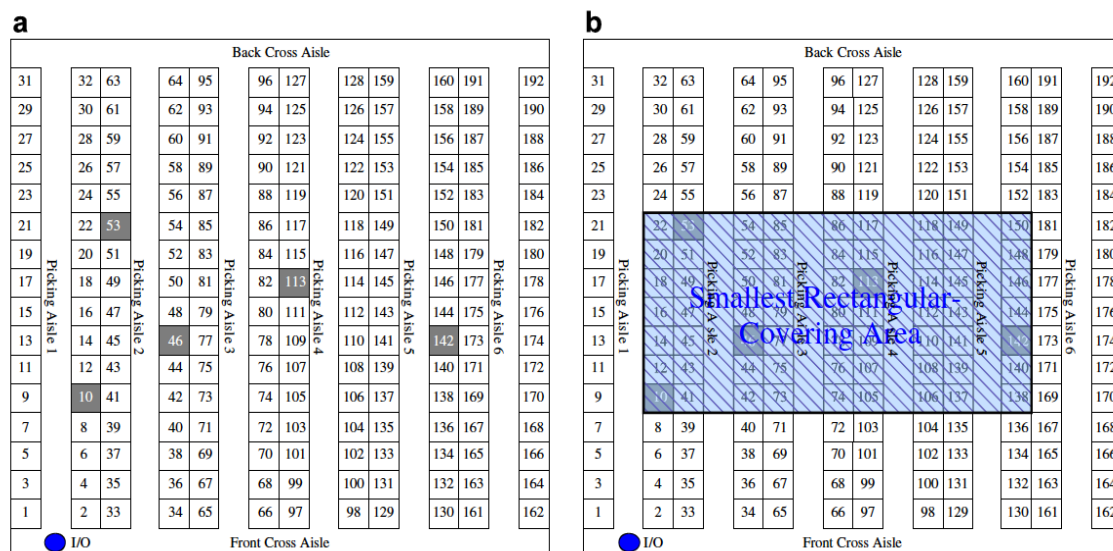
Van de set niet toegekende klantenorders wordt het order gekozen waarbij de ratio tussen het aantal te bezoeken opslaglocaties en het aantal pickgangen minimaal (maximaal) is (Ho & Tseng, 2006). De regel kan uitgedrukt worden met de volgende formule: $LAR(J) = \frac{NoPPL(J)}{NoFPA(J)}$.

Hierbij staat $LAR(J)$ staat voor de opslaglocatie-gangen ratio, $NoPPL(J)$ voor het aantal opslaglocaties van order j en $NoFPA(J)$ voor het aantal te bezoeken pickgangen voor order j .

Oppervlakte-gebaseerde regels

- *Kleinste (grootste) rechthoekig-bedekkend gebied*

Allereerst worden alle opslaglocaties per order opgezocht. Figuur 7-a toont alle opslaglocaties voor een order R door middel van grijs gearceerde vakjes. Identificeer daarna voor elk van de klantenorders de kleinste rechthoek zodat alle te bezoeken opslaglocaties bedekt zijn. Figuur 7-b tracht visueel het principe voor te stellen: op de figuur worden alle grijs gearceerde vakjes bedekt door een blauwe rechthoek. Selecteer daarna het order met het kleinste (grootste) rechthoekig-bedekkend gebied (Ho et al., 2008).



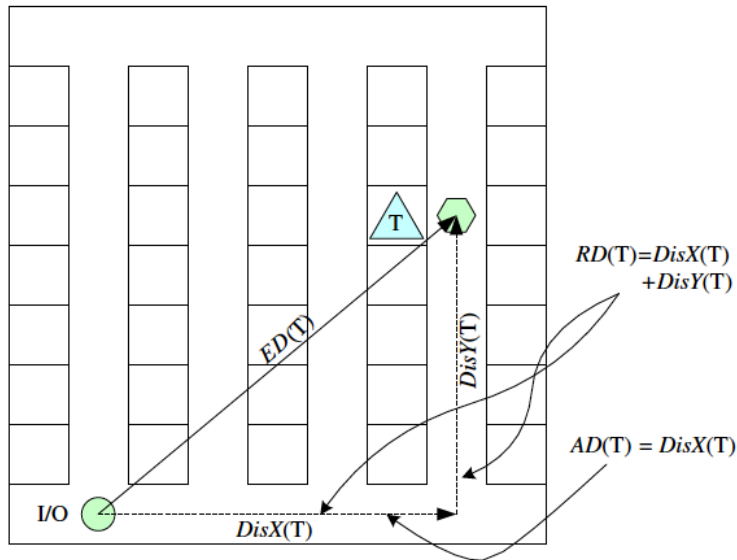
Figuur 7: Illustratie kleinste rechthoekig-bedekkende gebied (Ho et al., 2008)

Afstand-gebaseerde regels

- *Kortste gemiddelde rechthoekige afstand tot het depot*

Van de set niet toegekende klantenorders wordt het order gekozen waarbij de gemiddelde rechthoekige afstand tussen het depot en de opslaglocaties minimaal is (Ho et al., 2008). De gemiddelde rechthoekige afstand voor een order j kan uitgedrukt worden met de volgende

formule: $ARD(J) = \frac{\sum_{T \in IS(J)} RD(T)}{NofItems(J)}$. Hierbij staat $RD(T)$ voor de rechthoekige afstand tussen het depot en opslaglocatie t en $NofItems(J)$ voor het aantal opslaglocaties in een order j . Figuur 8 toont de werkwijze voor het meten van de rechthoekige afstand tussen het depot en een opslaglocatie. Het depot wordt aangeduid op de figuur met I/O en de opslaglocatie als een driehoek. De rechthoekige afstand is de som van de horizontale afstand en verticale afstand tussen de opslaglocatie T en het depot. De horizontale afstand wordt aangeduid als $DisX(T)$ en de verticale afstand wordt aangeduid als $DisY(T)$.



Figuur 8: Een illustratie van de verschillende meetmethoden voor afstand (Ho et al., 2008)

- *Kortste gemiddelde euclidische afstand tot het depot*

Van de set niet toegekende klantenorders wordt het order gekozen waarbij de gemiddelde Euclidische afstand tussen het depot en de opslaglocaties minimaal is (Ho et al., 2008). De gemiddelde euclidische afstand voor een order j kan uitgedrukt worden met de volgende formule:

$AED(J) = \frac{\sum_{T \in IS(J)} ED(T)}{NofItems(J)}$. Hierbij staat $ED(T)$ voor de euclidische afstand tussen opslaglocatie t en het depot en $NofItems(J)$ voor het aantal opslaglocaties in een order j . Figuur 8 toont visueel hoe de euclidische afstand tussen een opslaglocatie en het depot kan berekend worden. De figuur heeft dezelfde opbouw als bij de vorige regel. De euclidische afstand wordt hierin aangeduid als $ED(T)$ en is de kortste afstand in vogelvlucht tussen het depot en de opslaglocatie. De afstand kan berekend worden door middel van de horizontale en verticale afstand. De formule gaat als volgt, $ED(T) = \sqrt{DisX(T)^2 + DisY(T)^2}$.

- *Verste opslaglocatie*

Van de set niet toegekende klantenorders wordt het order gekozen bestaande uit de verst gelegen opslaglocatie van het depot (de Koster et al., 1999).

Seed order toevoeging regels

De seed order toevoeging regels bepalen hoe niet toegekende orders worden toegevoegd bij het seed order. Onderstaande regels worden opgedeeld aan de hand van berekeningswijze.

- *Random*

Het order dat wordt toegevoegd aan de batch wordt willekeurig gekozen uit de nog niet-toegevoegde orders (Ho & Tseng, 2006).

Locatie-gebaseerde regels

- *Kleinste aantal additionele opslaglocaties*

Een order wordt toegevoegd aan de batch als het aantal additionele opslaglocaties door het toevoegen van het order aan de batch minimaal is (Ho & Tseng, 2006).

- *Grootste gelijkens ratio in opslaglocaties*

Een order wordt toegevoegd aan de batch wanneer de ratio van het aantal gemeenschappelijke opslaglocaties tussen de batch en het order over het aantal opslaglocaties van de batch, inclusief het order, maximaal is (Ho & Tseng, 2006).

- *Grootste aantal identieke opslaglocaties*

Het order met het grootste aantal identieke opslaglocaties met de batch zal toegevoegd worden aan de batch (Ho & Tseng, 2006).

- *Grootste bedekking ratio in opslaglocaties*

Een order wordt toegevoegd aan de batch wanneer de ratio van het aantal gemeenschappelijke opslaglocaties tussen de batch en het order over het aantal opslaglocaties van het order minimaal is (Ho & Tseng, 2006).

Gang-gebaseerde regels

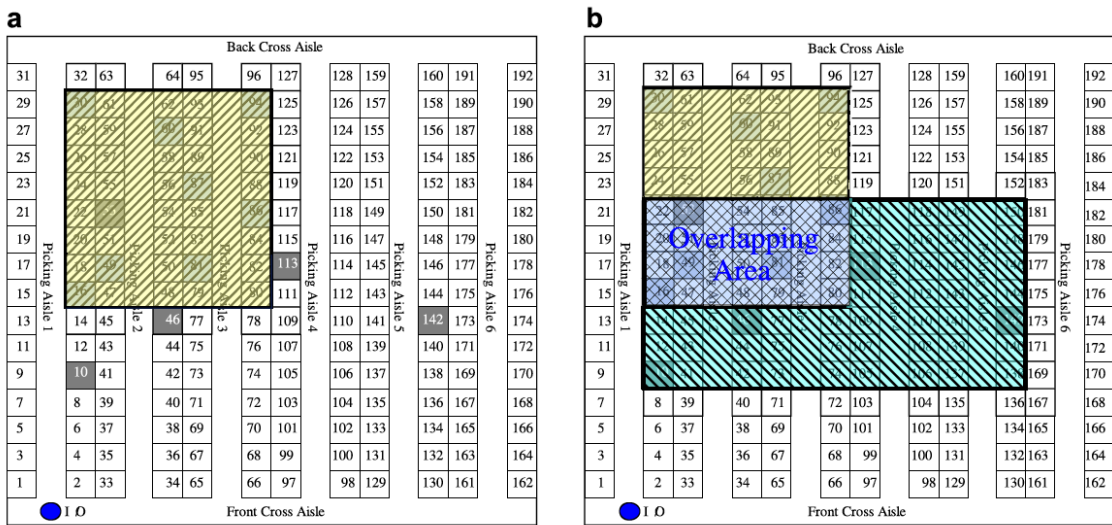
- *Kleinste aantal additionele pickgangen*

Een order wordt toegevoegd aan de batch indien het aantal additionele te bezoeken pickgangen minimaal is (Ho et al., 2008).

Oppervlakte-gebaseerde regels

- *Kleinste (grootste) overlappend oppervlak*

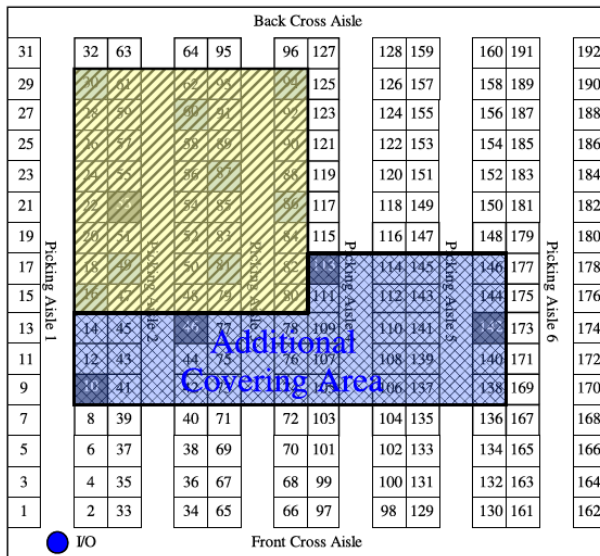
Voor alle orders uit de set niet toegekende klantenorders wordt het overlappend oppervlak berekend tussen de kleinste rechthoek die alle opslaglocaties van het order j omvat en de kleinste rechthoek die alle opslaglocaties van batch B omvat. Het order met het kleinste (grootste) overlappende oppervlakte wordt toegevoegd aan de batch (Ho et al., 2008). Figuur 9 tracht de regel visueel te verklaren. De opslaglocaties van het order j worden in het grijs gearceerd, terwijl de opslaglocaties van batch B in het blauw worden gearceerd. De gele rechthoek op de figuur toont het kleinste rechthoekig gebied dat alle opslaglocaties van de batch B bedekt, terwijl de groene rechthoek het kleinste gebied toont dat alle opslaglocaties van het order j bedekt. Door de twee rechthoeken te vergelijken kan het overlappend gebied berekend worden.



Figuur 9: Een illustratie van het overlappend oppervlak (Ho et al., 2008)

- *Kleinste additionele overlappend oppervlak*

Voor alle orders uit de set niet toegekende klantenorders wordt het additionele oppervlak berekend dat nodig is voor het bedekken van alle opslaglocaties van order j en batch B tegenover de situatie waarbij alle opslaglocaties uit batch B worden bedekt. Het order met het kleinste additionele oppervlak wordt toegevoegd aan de batch (Ho et al., 2008). Figuur 10 toont de werkwijze op een grafische manier. De opslaglocaties van het order j worden in het grijs gearceerd terwijl de opslaglocaties van batch B in het blauw worden gearceerd. De gele rechthoek op de figuur toont het kleinste rechthoekig gebied dat alle initiële opslaglocaties van de batch B bedekt. De blauwe rechthoek op de figuur toont het kleinste additionele gebied dat alle opslaglocaties van het order j en batch B bedekt.



Figuur 10: Het additionele overlappend oppervlakte (Ho et al., 2008)

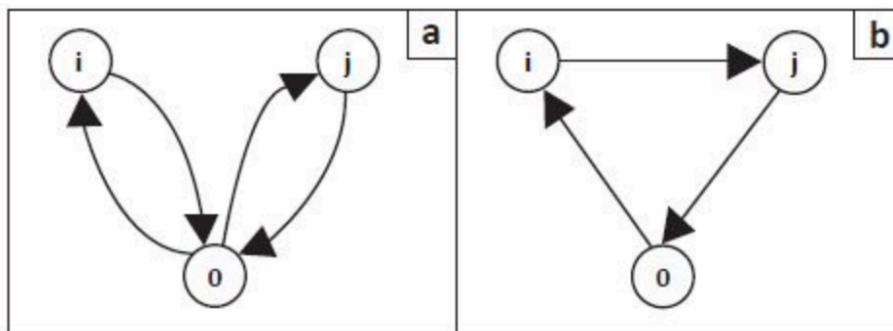
Afstand-gebaseerde regels

- *Kleinste zwaartepunt*

Allereerst dient het zwaartepunt voor alle orders en de batch berekend te worden. Het zwaartepunt van een order kan gedefinieerd worden als het gemiddeld aantal te betreden pickgangen om de alle producten te verzamelen. Hierna wordt het order toegevoegd aan de batch waarbij het absolute verschil tussen het zwaartepunt van het order en de batch minimaal is. (Rosenwein, 1996).

2.4.3 Besparingsalgoritmen

Besparingsalgoritmen zijn gebaseerd op het Clarke-and-Wright algoritme (Clarke & Wright, 1964). Figuur 11 tracht het werkingsprincipe van besparingsalgoritmen te verduidelijken. Punt o staat voor het depot en punt i en j voor klanten i en j . Op Figuur a, de huidige situatie, worden klanten i en j afzonderlijk bezocht via twee routes. Anderzijds op Figuur b, de nieuwe situatie, zullen de twee klanten via één route bezocht worden. Het achterliggende principe zijn de te realiseren besparingen door het combineren van twee orders in één route (Koster, Van der Poort & Wolters, 1999). De verschillende besparingsalgoritmen zullen na elkaar worden uitgelegd.



Figuur 11: Het principe van besparingsalgoritmen (Lysgaard, 1997)

2.4.3.1 Clarke-and-Wright (i)

Het algoritme bestaat uit de volgende stappen.

1. Bereken de besparing S_{ij} voor elk mogelijk paar van orders i en j , rekening houdend met de capaciteit van het picking-voertuig. De besparing kan uitgedrukt worden in de vermindering van tourlengte door het toekennen van producten van verschillende klantenorders tot één batch in de plaats van de klantenorders afzonderlijk te verzamelen. S_{ij} kan ook worden uitgedrukt in een algemene formule aan de hand van Figuur 11, namelijk $S_{ij} = D_a - D_b$. D_a staat voor de af te leggen afstand bij situatie a, $D_a = C_{0i} + C_{i0} + C_{0j} + C_{j0}$. D_b staat voor de af te leggen afstand bij situatie b, $D_b = C_{0i} + C_{ij} + C_{j0}$.
2. Sorteert de besparingen van groot naar klein.
3. Kies het paar van orders met de grootste besparing. Indien meerdere paren van orders bestaan met dezelfde besparing, dient één paar orders random gekozen te worden.
4. Drie situaties kunnen voorvallen:

- a. Het paar orders is nog niet toegevoegd in een bestaande batch, alsook is voldoende capaciteit aanwezig voor het toevoegen van de twee orders in de nieuwe batch. Voeg beide orders toe aan de batch.
 - b. Exact één order van het orderpaar is al toegevoegd in een bestaande batch. Indien voldoende capaciteit aanwezig is, dient het overgebleven order te worden toegevoegd aan de nieuwe batch.
 - c. Beide orders zijn al toegevoegd aan een bestaande batch. Ga naar stap vijf.
5. Kies het volgende orderpaar van de picklijst en herhaal stap vier totdat alle orders zijn toegevoegd aan een route.
 6. Indien alle order combinaties geselecteerd zijn, maar niet alle orders zijn toegevoegd aan een route, dan moet een nieuwe batch voor elk van de overgebleven orders gecreëerd worden.

2.4.3.2 Clarke-and-Wright (ii)

Het Clarke-and-Wright (ii) algoritme is gelijklopend met C&W (i), behalve dat de besparingen elke keer opnieuw moeten berekend worden na het toevoegen van een klantenorder aan een batch (Henn, Koch & Wäscher, 2012). Bij het berekenen van de besparingen gebeuren twee wijzingen. Nadat een klantenorder is toegevoegd aan een batch, zal het order worden verwijderd bij het berekenen van de besparingen. Ook zal bij het berekenen van de besparingen de nieuwe batch behandeld worden als een nieuw en groot order (Elsayed & Unal, 1989).

2.4.3.3 Clarke-and-Wright (iii)

Een nadeel bij vorige twee Clarke en Wrights algoritmes is dat het aantal gevormde batches niet kan gecontroleerd worden. In sommige gevallen is het voordelig om het aantal gecreëerde batches te controleren. Het Clarke-and-Wright (iii) algoritme controleert het aantal gecreëerde batches door het C&W (i) algoritme aan te passen. De wijziging in het algoritme is dat de initiële besparingsmatrix wordt aangepast bij iedere toevoeging van een order aan een batch. De aanpassing is dat de besparing tussen twee orders, welke beide nog niet zijn toegewezen aan een batch, met een constante waarde zullen verminderen. Hierdoor zal het algoritme eerder orderparen selecteren waarbij minstens één van de klantenorders al is toegewezen aan een batch.

2.4.3.4 EQUAL algoritme

Het EQUAL algoritme genereert batches achtereenvolgens en maakt gebruik van de cumulative seed regels (Henn, Koch & Wäscher, 2012). Het paar van klantenorders met de grootste tourlengtebesparing wordt toegevoegd aan een batch en wordt de seed genoemd. Hierna wordt het order met de grootste potentiële besparing in combinatie met de seed toegevoegd aan de batch. De seed en het toegevoegde order vormen samen de nieuwe seed. Het EQUAL algoritme wordt herhaald totdat geen van de klantenorders meer kan worden toegevoegd aan de bestaande batch (Elsayed & Unal, 1989). Hierna zal een nieuwe batch moeten worden gecreëerd en wordt het hele proces herhaald. Indien op het einde van de procedure alleenstaande orders over zijn, dan zullen alle alleenstaande orders individueel geclusterd worden (Koster, Van der Poort & Wolters, 1999).

2.4.3.5 Small-Large algoritme

Bij het small-large algoritme worden twee deelverzamelingen gecreëerd, namelijk een set met grote klantenorders en een set met kleine klantenorders. Het onderscheid tussen de deelverzameling van grote en kleine orders zal gebeuren op basis van een vooraf gekozen aantal producten (Elsayed & Unal, 1989). Het bepalen van de hoeveelheid producten waarop het onderscheid is gebaseerd, is afhankelijk van de ordergroottes en de capaciteit van het picking-voertuig (Koster, Van der Poort & Wolters, 1999). De deelverzameling met grote klantenorders wordt toegewezen aan een batch door middel van het EQUAL algoritme of het C&W (i) algoritme. Voor het toewijzen van de deelverzameling met kleine klantenorders dienen de orders eerst te worden gesorteerd op dalende orde van grootte. Hierna worden de orders in volgorde van grootte toegewezen aan een batch. De orders mogen de capaciteitsbeperking niet schenden. In het geval dat geen van de kleine orders kan worden toegevoegd aan een bestaande batch zal een nieuwe batch gecreëerd worden. Volgens Elsayed en Unal (1989) is het Small-Large algoritme de betere van de vier besparingsalgoritmen.

2.4.4 Het vergelijken van besparingsalgoritmen en seed algoritmen

Het seed algoritme bestaat uit een seed selectie regel en een seed order toevoeging regel. Voor het bepalen van de optimale combinatie van seed selectie regels en seed order toevoeging regels dienen eerst de twee soorten regels afzonderlijk te worden onderzocht. Bij de seed selectie regels presteert de kleinste aantal opslaglocaties regel het beste, samen met de kleinste rechthoekig-bedekkend gebied regel en de kleinste aantal pickgangen regel. De drie regels zijn niet significant verschillend van elkaar. Bij de seed order toevoeging regels presteert de kleinste aantal additionele opslaglocaties regel het beste samen met de kleinste aantal additionele pickgangen regel. Volgens Ho et al., (2008) is een interactie-effect aanwezig tussen de twee soorten regels. Hierdoor presteert een combinatie van de kleinste aantal opslaglocaties regel en de kleinste aantal additionele opslaglocaties het beste. Het valt op dat de relatief eenvoudig te berekenen regels het beste presteren. Nu dat een optimale seed algoritme is bekomen, dient het algoritme vergeleken te worden met besparingsalgoritmen. Tabel 1 geeft de reistijd weer voor het beste seed algoritme en verschillende besparingsalgoritmen, alsook de relatieve prestatie van de order batching methoden tegenover de FCFS batching methode. Het beste seed algoritme staat voor een combinatie van de

kleinste aantal opslaglocaties regel en de kleinste aantal additionele opslaglocaties regel. Uit de tabel is af te leiden dat besparingsalgoritmen beter presteren dan seed algoritmen op gebied van reistijd. Hierbij moet een kanttekening gemaakt worden aangezien besparingsalgoritmen het nadeel hebben van een exponentieel groeiende rekentijd bij een stijgend aantal orders. Als gevolg zullen besparingsalgoritmen niet meer toepasbaar zijn bij een bepaald aantal orders. Volgens Koster, Van der Poort en Wolters (1999) is het aantal vanaf 40 orders. Een twee bemerking is dat geen significant verschil tussen de verschillende besparingsalgoritmen voorkomt. In andere woorden, de makkelijke te berekenen besparingsalgoritmen presteren relatief even goed als de complexe besparingsalgoritmen.

Order batching algoritmen	Reistijd
Beste seed algoritme	1543,4 (12%)
C&W (i)	1498,6 (14,5%)
C&W (ii)	1461,3 (16,7%)
C&W (iii)	1471,8 (16,1%)
EQUAL	1551,1 (11,5%)
Small-Large met C&W(i)	1487,7 (15,2%)
Small-Large met EQUAL	1551,1 (11,5%)
First-Come-First-Served	1753,4

Tabel 1: Vergelijking van seed en besparingsalgoritmen (Koster, Van der Poort & Wolters, 1999)

2.4.5 Data mining

De data mining methode bestaat uit twee stappen, namelijk data mining en integer programmeren (Henn, Koch & Wäsher, 2012). De eerste stap is gebaseerd op winkelmand analyse. In winkelmand analyse wordt onderzocht welke producten vaak tezamen voorkomen in een winkelmand. Toegepast op data mining wordt voor elk orderpaar een waarde bepaald voor de mate van verbondenheid tussen twee klantenorders. De mate van verbondenheid wordt volgens Hwang en Kim (2005) gekarakteriseerd door de gemeenschappelijke kenmerken tussen orders. In de tweede stap worden orderparen met een grote verbondenheid via integer programmeren toegewezen aan batches.

Een mogelijk data mining algoritme is het algoritme van Chen en Wu (2005). Bij het algoritme wordt in de data mining stap de nabijheid van orders bepaald via een associatieregel. De associatieregel identificeert de mate van gelijkenis tussen klantenorders door middel van een support en confidence waarde. De twee waarden worden bepaald door het aantal gelijkaardige producten tussen twee orders. De support en confidence waarden worden uitgelegd met behulp van een voorbeeld. In het voorbeeld zijn drie producten aanwezig, namelijk A, B en C. De producten hebben een support waarde van 10% en een confidence waarde van 50%. De support waarde betekent dat producten A, B en C samen voorkomen in hetzelfde klantenorder bij 10% van alle klantenorders. Een confidence waarde van 50% betekent indien product A en B voorkomen in een klantenorder, dan zal in 50% van alle klantenorders ook product C voorkomen. Na het bepalen

van de nabijheid van orders, worden de orders toegewezen aan batches door middel van binair integrale programmering. Via het Apriori algoritme wordt het aantal te onderzoeken orderparen in de tweede stap verminderd. Een vermindering in het aantal te onderzoeken orderparen leidt tot een lagere rekentijd. Het Apriori algoritme gaat als volgt te werk: alleen de orderparen met een support waarde hoger dan een specifieke waarde worden onderzocht. Binair integrale programmatie loopt parallel met lineaire programmatie, met het verschil dat de variabelen van binaire waarde zijn. Als gevolg zal het branch-and-bound-algoritme moeten worden aangepast. Een 0-waarde betekent dat een orderpaar niet wordt toegevoegd aan de batch, terwijl een 1-waarde betekent dat een orderpaar wel wordt toegevoegd aan de batch. Het toewijzen van orderparen aan batches gebeurt op een dergelijke manier zodat de som van de support waarden van alle mogelijke producten in een batch wordt gemaximaliseerd. Door de werkwijze worden de orders met het hoogst aantal dezelfde producten aan dezelfde batch toegewezen. Een logisch gevolg van het verzamelen van klantenorders met een hoog aantal dezelfde producten is dat een kleinere afstand moet worden afgelegd dan in de situatie waarbij klantenorders moeten worden verzameld met verschillende producten (Chen & Wu, 2005).

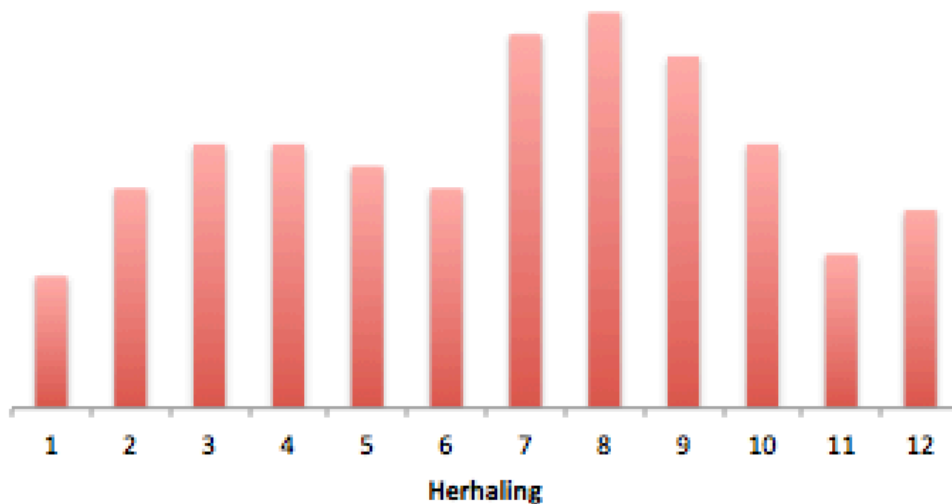
2.5 Metaheuristieken

In Sectie 2.5 worden de meest gebruikte metaheuristieken uitgelegd. Bij metaheuristieken worden, net zoals bij exacte oplossingsmethoden en heuristieken, batches gevormd. Een metaheuristiek voorziet een algemene structuur en een strategische handleiding voor het ontwikkelen van een specifieke heuristiek voor bepaalde soorten problemen. Het verschil tussen heuristieken en metaheuristieken is dat heuristieken enkel verbeteringen in de doelfunctiewaarde accepteren als nieuwe oplossing. In tegenstelling tot metaheuristieken, waarbij ook verslechtingen in de doelfunctiewaarde geaccepteerd worden. Door het verschil in de werkwijze wordt bij een metaheuristiek een globale oplossing gevonden, terwijl bij heuristieken een lokale oplossing wordt gevonden (Hillier & Lieberman, 2015).

2.5.1 Algemene structuur metaheuristieken

De algemene structuur van een metaheuristiek wordt uitgelegd aan de hand van Figuur 12. De figuur toont de verschillende stappen van een metaheuristiek waarbij een maximalisatie plaatsvindt. Bij metaheuristieken wordt vertrokken uit een willekeurige gekozen initiële oplossing. De initiële oplossing wordt aangeduid met het cijfer één op Figuur 12. Hierna volgt de lokale verbeteringsprocedure. Bij de lokale verbeteringsprocedure wordt bij elke stap de omgeving van de huidige oplossing onderzocht op een betere doelfunctiewaarde. De stap stopt op het moment dat geen betere doelfunctiewaarde in de omgeving van de huidige oplossing kan gevonden worden, ook wel een lokaal optimum genoemd. Het lokaal optimum wordt aangeduid met het cijfer drie op Figuur 12. De lokale verbeteringsprocedure wordt specifiek voor het order batching probleem uitgelegd in Sectie 2.5.2. In de volgende stappen wordt ontsnapt uit het lokaal optimum. Het ontsnappen uit een lokaal optimum kan op verschillende manieren gebeuren. Een aantal manieren zijn de shift en swap-move, tabusearch, variable neighbourhood search, Attribute-Based-Hill-

Climber en populatie gebaseerde methoden. De aangehaalde manieren worden verder uitgelegd in Sectie 2.5.3. Na het uitvoeren van een ontsnapping zal in sommige gevallen na een aantal stappen weer een top worden bereikt, aangeduid met het cijfer acht op Figuur 12. Om zeker te zijn dat het gaat over een globaal optimum wordt de omgeving verder onderzocht. Indien geen betere doelfunctiewaarde bekomen wordt kan gesproken worden van een globaal optimum (Hillier & Lieberman, 2015).



Figuur 12: Illustratie van metaheuristieken (Hillier & Lieberman, 2015)

2.5.2 De lokale verbeteringsprocedure

De lokale verbeteringsprocedure start met een initiële oplossing S . De initiële oplossing S staat voor willekeurig gevormde batches. Het algemeen principe van de lokale verbeteringsprocedure bestaat uit het verkennen van de omgeving van de oplossing. Het verkennen kan gebeuren door een lokale transformatie, namelijk een shift en/of swap-move. De procedure heeft als doel om in elke stap een betere doelfunctiewaarde te bekomen dan in de vorige stap. De lokale verbeteringsprocedure genereert een opeenvolging van oplossingen, waarbij elk lid een buur is van zijn voorganger. Een voorbeeld van een opeenvolging van oplossingen is $S_0, S_1, S_2...$ Elk element heeft een betere doelfunctiewaarde dan zijn voorganger. Het genereren van oplossingen stopt bij een lokaal optimum. Een lokaal optimum komt voor wanneer geen naburige oplossing kan gevonden worden met een betere doelfunctiewaarde dan de huidige oplossing. In veel gevallen zal het lokaal optimum verwijderd zijn van het globaal optimum. Het voorgaande probleem zal opgelost worden door Iterated Local search (Koster, Van der Poort & Wolters, 1999).

2.5.3 Aangepaste lokale verbeteringsprocedures

SWAP-move

De SWAP-move is geïntroduceerd door Gademann en van de Velde (2005). De swap-move start met initiële batches gegenereerd door de First-Come-First-Served regel. Het verkennen van de omgeving gebeurt door het uitvoeren van SWAP-moves. Een SWAP-move houdt in dat twee orders van verschillende batches worden omgewisseld. Gademann en Van de Velde (2005) gebruiken het principe dat de eerste oplossing in de omgeving met een betere doelfunctiewaarde dan de huidige oplossing, de nieuwe oplossing wordt. Wanneer een lokaal optimum wordt bereikt, zal anders dan bij de traditionele verbeteringsprocedure, verder worden gegaan. De aanpassing zal betekenen dat drie klantenorders van drie verschillende batches willekeurig worden omgewisseld. Door het uitvoeren van de actie kan ontsnapt worden uit een lokaal optimum. De bekomen oplossing wordt gezien als de nieuwe oplossing. Hierna zal de verbeteringsfase weer starten. De serie van operaties wordt voor een vooraf gedefinieerd aantal keer herhaald (Gademann & van de Velde, 2005).

Shift & Swap-move

Het algoritme dat gebruikmaakt van SHIFT en SWAP-moves is geïntroduceerd door Henn et al. (2010). Het algoritme bestaat uit twee stappen, een lokale verbeteringsfase en een verstoringsfase. Eerst wordt een initiële oplossing gegenereerd door de FCFS-regel. De lokale verbeteringsfase bevat SHIFT en SWAP-moves. De werking van een SWAP-move werd al eerder uitgelegd. Een SHIFT-move houdt in dat één klantenorder wordt geselecteerd en toegewezen aan een andere batch. De lokale verbeteringsfase start met een aantal SWAP-moves totdat geen verdere verbetering kan gevonden worden. Daarna worden een aantal SHIFT-moves uitgevoerd totdat ook hier geen verbetering kan bereikt worden. Hierna worden weer SWAP-moves uitgevoerd. Bovenstaande volgorde van bewerkingen wordt gedaan totdat geen verbetering meer kan gevonden worden. Daarna worden in de verstoringsfase twee batches random geselecteerd en een random getal van orders wordt verwisseld tussen de twee batches (Henn, Koch & Wäscher, 2012). Na het uitvoeren van de verstoringsfase start opnieuw de lokale verbeteringsfase. Na een aantal keer de lokale verbeteringsfase uitgevoerd te hebben, stopt het algoritme. De beste doelfunctiewaarde wordt dan als eindoplossing gekozen.

Variable Neighbourhood Search

Het algoritme van Variable Neighbourhood Search, ook wel het VNS algoritme genoemd, is geïntroduceerd door Albareda-Sambola et al. (2009). Het algoritme verschilt met de vorige algoritmen omdat het meerdere soorten lokale transformaties uitvoert, terwijl de andere algoritmen beperkt zijn tot één soort lokale transformatie. Het artikel definieert drie verschillende manieren voor de omgeving te verkennen. Een eerste methode is via de SHIFT-move, waarbij één order van een batch toegewezen wordt aan een andere batch. Een tweede methode is het toewijzen van één of twee orders van één batch aan een andere batch of aan verschillende batches. Een derde methode is het toewijzen van één of twee orders van één of twee batches aan

één of twee andere batches. Bij de drie methoden worden alleen bewegingen naar een toegelaten oplossing geaccepteerd.

Het algoritme start met verkennen van de omgeving van de initiële oplossing door het toepassen van methode één. Indien geen verbetering kan gevonden worden, start het algoritme met de volgende methode. In het geval dat een verbeterde oplossing wordt gevonden door het toepassen van methode twee of drie, gaat het algoritme terug de omgeving onderzoeken met methode één. Het algoritme wordt beëindigd indien na een aantal iteraties geen verbetering in de doelfunctiewaarde kan gevonden worden (Albareda-Sambola et al., 2009).

Tabu Search

Het tabu Search algoritme is ontwikkeld door Glover (1986). Het algoritme start, net zoals de vorige algoritmen, met het genereren van een willekeurige initiële oplossing. De volgende stap bestaat uit het verkennen van de omgeving van de initiële oplossing. Het grote verschil met de traditionele lokale verbeteringsprocedure is dat nu ook verslechtingen in de doelfunctiewaarde zijn toegelaten. De keuze heeft als beweegreden om uit een lokaal optimum te kunnen ontsnappen. Het risico bij de werkwijze is dat na een aantal iteraties wordt teruggekeerd naar hetzelfde lokale optimum. Het algoritme lost het risico op door een tabu lijst te introduceren. Een tabu lijst onthoudt de stappen van de vorige iteraties. Het doel hiervan is om herhalingen te vermijden en om de zoekopdracht te verbreden. In andere woorden, bij elke iteratie houdt Tabu search alleen rekening met de elementen in de omgeving die bereikt kunnen worden door een non-tabu move. Het algoritme stopt nadat een aantal iteraties geen verbetering in de doelfunctiewaarde bereikt is. Nadien worden de doelfunctiewaarden uit alle iteraties vergeleken en wordt de beste doelfunctiewaarde als eindoplossing genomen (Hillier & Lieberman, 2015).

Populatie gebaseerde methoden

In de studie van Bullnheimer et al., (1999) werd een eerste vorm van een populatie gebaseerde methode geïntroduceerd. Hierna hebben onder andere de studies van Henn et al., (2010) en Henn, Koch en Wäscher (2012) verschillende manieren van populatie gebaseerde methoden onderzocht. Vanwege de complexiteit en de vele varianten, werd besloten om niet verder in te gaan in het onderwerp.

2.6 Conclusie en link met het volgende hoofdstuk

In de literatuur wordt een onderscheid gemaakt tussen exacte oplossingsmethoden, heuristieken en metaheuristieken. Exacte oplossingsmethoden zijn zeer krachtige algoritmen voor het oplossen van problemen met een klein aantal te vormen batches. Eenmaal dat het probleem complexer wordt, stijgt de rekentijd exponentieel en moeten te veel assumpties gemaakt worden. Hierdoor is besloten om in het empirisch gedeelte van de masterproef niet de effecten van exacte oplossingsmethoden te onderzoeken. Uit de tweede sectie van de masterproef is gebleken dat verschillende soorten heuristieken bestaan voor het vormen van batches. In het empirisch gedeelte van de masterproef zal het effect van algoritmen gebaseerd op prioriteiten onderzocht worden, wanneer de prioriteiten worden toegekend op First-Come-First-Served basis. De redenen hiervoor zijn het gebruiksgemak van het algoritme en de chronologische uitvoering van binnenkomende orders bij H. Essers. Een bemerking bij de heuristieken seed en besparingsalgoritmen is dat complexe algoritmen niet significant beter presteren dan minder complexe algoritmen. Hierdoor wordt aangeraden om altijd te kiezen voor de minder complexe algoritmen, aangezien de algoritmen makkelijk te implementeren zijn en niet moet worden ingeboet op het gebied van prestatie. Een laatste soort heuristiek, namelijk data mining, is te complex om in te voeren. Hierdoor is besloten om het algoritme niet verder te onderzoeken. De literatuur haalt ook veel verschillende metaheuristieken aan. Het algoritme van een metaheuristiek is complex en hierdoor is besloten om in het empirisch gedeelte de effecten van metaheuristieken niet te onderzoeken. Om te concluderen kan gezegd worden dat twee situaties zullen worden onderzocht in het empirisch gedeelte van de masterproef: de eerste situatie is waarbij geen order batching zal plaatsvinden en de tweede situatie is waarbij order batching gebaseerd op prioriteiten zal plaatsvinden. In het volgende hoofdstuk worden de verschillende voorraad-toewijzingsmethoden uitgelegd en zal de samenwerking tussen order batching en de verschillende voorraad-toewijzingsmethoden onderzocht worden.

3. Literatuurstudie van de verschillende voorraad-toewijzingsmethoden

3.1 Inleiding

In het derde hoofdstuk van deze masterproef zal de tweede deelvraag behandeld worden aangaande de methoden van voorraad-toewijzing, reeds in de literatuur onderzocht. Een voorraad-toewijzingsmethode is de gebruikte set van regels bij het toewijzen van producten aan opslaglocaties. Volgens De Koster, Le-Duc, Roodbergen (2007) zijn de vijf meest gebruikte voorraad-toewijzingsmethoden: random opslag, toegewijde opslag, op verkoopvolume gebaseerde opslag, op familie gebaseerde opslag en op klasse gebaseerde opslag. Eerst zal in Sectie 3.2 het principe van random opslag worden uitgelegd, daarna zal in Sectie 3.3 toegewijde opslag worden verklaard. Vervolgens wordt in Sectie 3.4 toelichting gegeven van op verkoopvolume gebaseerde opslag. Hierna wordt in Sectie 3.5 verder uitleg gegeven over op familie gebaseerde opslag. Daarna zal in Sectie 3.6 gefocust worden op klasse gebaseerde opslag aangezien het bedrijf H. Essers geïnteresseerd is in het effect van implementatie hiervan. Ten slotte wordt in Sectie 3.7 geëindigd met een conclusie en een link naar de praktijkstudie.

3.2 Random opslag

Elk inkomend product wordt aan een opslaglocatie in het magazijn toegewezen. De keuze van de opslaglocatie gebeurt random uit alle beschikbare lege opslaglocaties. Random kiezen betekent dat alle beschikbare opslaglocaties een even grote kans op selectie hebben (Dekker et al., 2004). Net zoals bij alle andere voorraad-toewijzingsmethoden moet een afweging worden gemaakt tussen een hoge bezettingsgraad van opslaglocaties en een verhoogde af te leggen afstand (De Koster, Le-Duc & Roodbergen, 2007). Random opslag zal alleen maar werken in een door computer gestuurde omgeving, want in het geval dat orderpickers zelf een opslaglocatie mogen uitkiezen, zullen de dichtstbijzijnde opslaglocaties als eerste worden opgevuld. Hierdoor vervalt het principe van random opslag dat alle opslaglocaties een even grote kans op selectie hebben. Het resultaat is een magazijn waar alle opslaglocaties rond het depot bezet zijn en de bezettingsgraad gradueel afneemt naarmate de opslaglocatie verder van het depot gelegen is (Hausman, Schwarz & Graves, 1976). Een hoge bezettingsgraad dichtbij het depot klinkt op het eerste zicht positief, maar is in de meeste gevallen niet de meest geschikte voorraad-toewijzingsmethode, aangezien de producten op willekeurige basis dichtbij het depot worden geplaatst. Een mogelijke verklaring waarom bedrijven voor random opslag als voorraad-toewijzingsmethode kiezen, is de ermee gepaard gaande hoge bezettingsgraad van opslaglocaties. Een hoge bezettingsgraad van opslaglocaties zorgt voor een minimum aan congestie aangezien de picking activiteiten over het hele magazijn worden gespreid. Een tweede verklaring voor de keuze van random opslag geldt indien een bedrijf te maken heeft met een snel wijzigende voorraad. Een snel wijzigende voorraad heeft als gevolg dat bij de andere voorraad-toewijzingsmethoden het magazijn vaak gereorganiseerd zal moeten worden, hetgeen gepaard gaat met hoge kosten.

3.3 Toegewijde opslag

Bij toegewijde opslag wordt elk product aan een vaste opslaglocatie toegewezen. Een voordeel van toegewijde opslag is dat gewenning ontstaat bij orderpickers omtrent de plaats van producten in het magazijn. Dat kan ervoor zorgen dat de productiviteit stijgt. Toegewijde opslag is voordelig in twee situaties. Een eerste situatie komt voor wanneer de producten in gewicht verschillen. Bij toegewijde opslag kunnen de zware producten onderaan in het rek worden geplaatst en de lichte producten bovenaan. Zo zal de belasting voor orderpickers dalen. Een tweede situatie doet zich voor bij magazijnen met twee verschillende gebieden. Een eerste gebied met een bulk hoeveelheid aan producten en een tweede, kleiner gebied waarin orderpickers actief zullen zijn. De producten van het bulkgebied worden gebruikt om het order picking gebied aan te vullen en worden via random opslag toegewezen. Het tweede gebied zal van toegewijde opslag gebruik maken. Door het combineren van random opslag en toegewijde opslag kan worden geprofiteerd van de voordelen van toegewijde opslag en worden de nadelen alleen maar beperkt tot een klein gebied (De Koster, Le-Duc & Roodbergen, 2007). Een nadeel van toegewijde opslag is dat een opslaglocatie voor een product wordt gereserveerd, terwijl het mogelijk is dat het product niet meer in voorraad is. Een bijkomend minpunt is dat voldoende ruimte voor elk product moet gereserveerd worden. De benodigde hoeveelheid ruimte is afhankelijk van het maximale voorraadniveau. Dat zorgt ervoor dat de bezettingsgraad van de opslaglocaties relatief laag is tegenover andere voorraadtoewijzingsmethoden.

3.4 Op verkoopvolume gebaseerde opslag

Op verkoopvolume gebaseerde opslag is een variant van toegewijde opslag. Het verschil tussen de twee methoden is dat bij op verkoopvolume gebaseerde opslag producten worden toegewezen aan opslaglocaties op basis van hun verkoopvolume. Terwijl bij toegewijde opslag worden producten toegewezen aan opslaglocaties op basis van ander criteria. Een eerste aanzet op verkoopvolume gebaseerde opslag vond plaats toen Gray, Karmarkar en Seidmann (1992) opmerkten dat het toewijzen van producten met een hoog verkoopvolume aan de pickgangen dichtbij het depot, een significante verhoging in de picking efficiëntie teweeg bracht. Na verloop van tijd zijn meer studies gedaan over het onderwerp en is een algemene definitie tot stand gekomen. Bij op verkoopvolume gebaseerde opslag worden producten op basis van omzet of verkoopvolume verspreid. Met andere woorden, de producten met de hoogste verkoopcijfers zullen op opslaglocaties dichtbij het depot worden geplaatst. Op verkoopvolume gebaseerde opslag vereist veel data omtrent de verkoop en de lay-out van een magazijn (De Koster, Le-Duc & Roodbergen, 2007). Een nadeel van op verkoopvolume gebaseerde opslag is dat in praktijk de vraag erg varieert en dat het assortiment van producten frequent verandert. Elke verandering betekent dat de producten opnieuw moeten worden geordend. Een mogelijke oplossing voor dat nadeel is het herordenen van het magazijn op specifieke tijdstippen. Een ander minpunt is dat gangpadcongestie kan ontstaan. De oorzaak hiervan is dat bij op verkoopvolume gebaseerde opslag de meest bezochte producten worden toegewezen aan een klein aantal pickgangen. Hierdoor zal de meerderheid van de picking activiteiten plaatsvinden in een beperkt aantal pickgangen. Het probleem van gangpadcongestie

kan vermeden worden door het gebruik van brede pickgangen, aangezien dan meerdere orderpickers in dezelfde pickgang actief kunnen zijn.

3.4.1 Op Cube-Per-Order gebaseerde toewijzingsmethode

Een variant van de op verkoopvolume gebaseerde toewijzingsmethode is de op Cube-Per-Order gebaseerde methode, ook wel op COI gebaseerde toewijzing genoemd. De COI van een product is de ratio van de totale benodigde oppervlakte van het product over het aantal benodigde trips om aan de vraag van het product te kunnen beantwoorden. Het principe van op COI gebaseerde toewijzing is dat producten met een lage COI-ratio dicht bij het depot worden geplaatst. Een nadeel van de op COI gebaseerde toewijzingsmethode is dat daarvoor veel informatie nodig is. Een tweede minpunt van het systeem is dat de opslaglocaties constant herzien moet worden door het actief zijn in een zeer dynamische omgeving (Caron, Marchet & Perego, 1998). Net zoals bij op verkoopvolume gebaseerde opslag kan op COI gebaseerde opslag alleen worden toegepast op een zeer stabiel assortiment met gelimiteerde veranderingen in orderopbouw en gelimiteerde veranderingen in het opgeslagen volume (Le-Duc & De Koster, 2004). Een bijkomend nadeel van op COI gebaseerde opslag is dat de methode de neiging heeft om de pick activiteiten te concentreren in een klein gebied, waar de producten met een lage COI zijn gestockeerd (Kallina & Lynn, 1976). De concentratie van pick activiteiten kan zorgen voor gangpadcongestie.

3.5 Op familie gebaseerde opslag

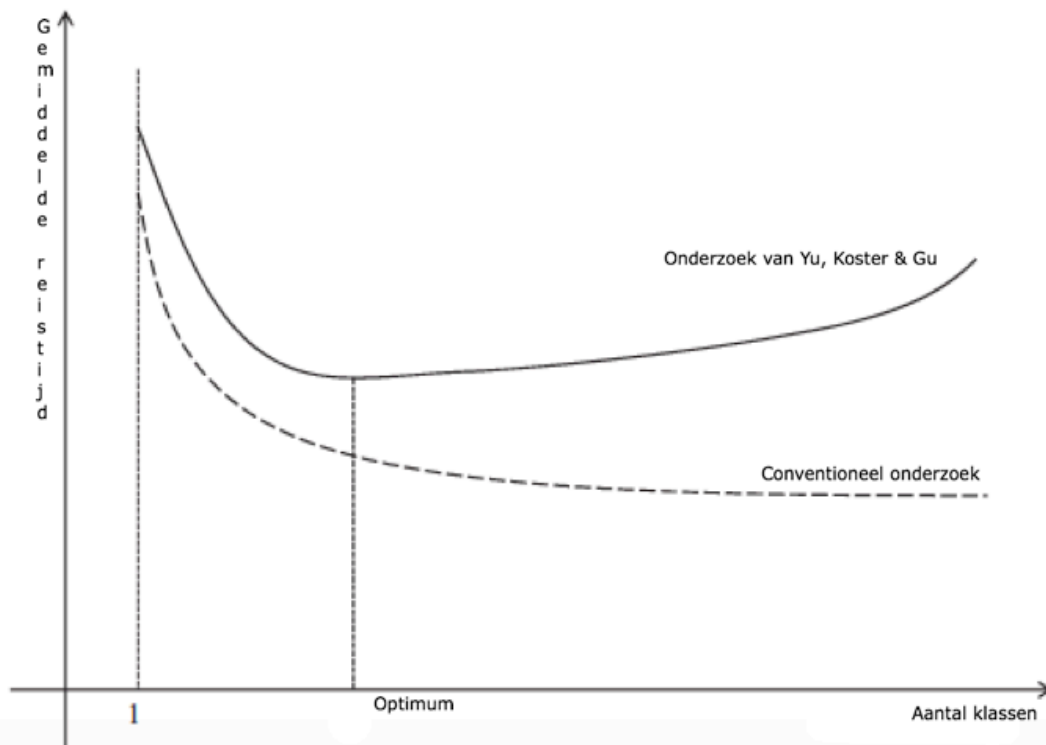
Bij op familie gebaseerde opslag worden overeenkomstige producten in dezelfde omgeving in het magazijn geplaatst. De overeenkomst tussen twee producten wordt op basis van statistische correlatie gemeten (Frazee & Sharp, 1989). Een overeenkomst kan gebaseerd zijn op het producttype, op producteigenschappen of op een combinatie van beide (Hausman, Schwarz & Graves, 1976). In de literatuur wordt gesproken over twee soorten op familie gebaseerde groeperingen. De eerste soort is de complementaire methode. De complementaire methode bestaat uit twee stappen. Bij de eerste stap worden producten in groepen geclusterd op basis van de grootte van de gemeenschappelijke vraag. Daarna worden de producten in één cluster zo dicht mogelijk bij elkaar gezet (Wäscher, 2004). De tweede methode is gelijkaardig aan de complementaire methode en wordt de op contact gebaseerde methode genoemd. Het enige verschil ligt in het gebruik van de grootte van de contactfrequentie om de producten in groepen te clusteren in plaats van de gemeenschappelijke vraag. De contactfrequentie tussen product i en j is het aantal keren dat product i wordt verzameld nadat product j is verzameld, en omgekeerd. Op familie gebaseerde opslag wordt vaak met andere voorraad-toewijzingsmethoden gecombineerd. Het is bijvoorbeeld mogelijk om op klasse gebaseerde opslag uit Sectie 3.6 toe te passen en de producten binnen één klasse te groeperen naargelang overeenkomst.

3.6 Op klasse gebaseerde opslag

Op klasse gebaseerde opslag is een afgeleide vorm van op verkoopvolume gebaseerde opslag (Tompkins et al., 2010). De producten worden in klassen onderverdeeld op basis van de Pareto methode. Bij de Pareto methode worden producten in klassen gegroepeerd zodat de snel bewegende producten ongeveer 15% van de totale oppervlakte in beslag nemen terwijl de producten voor 85 % van de omzet instaan, ook wel klasse A-producten genoemd. De volgende klasse wordt klasse B-producten genoemd, enzovoort. Klasse A-producten worden zo dicht mogelijk bij het depot geplaatst om de verzameltijd te verminderen. De klassen worden bepaald aan de hand van de vraag naar het product zoals de COI of het verkoopvolume. De verschillende klassen worden daarna aan specifieke plaatsen in het magazijn toegewezen. De opslag in een klasse gebeurt random (De Koster, Le-Duc & Roodbergen, 2007). Bij het gebruik van op klasse gebaseerde opslag moeten drie factoren bepaald worden: het aantal klassen, de klassenverdeling en de plaatsing van de klassen in het magazijn. De keuze van het aantal te gebruiken klassen wordt uitgelegd in Sectie 3.6.1. In Sectie 3.6.2 wordt verder ingegaan op het effect van de klassenverdeling. De plaatsing van de klassen in het magazijn wordt toegelicht in Sectie 3.6.3.

3.6.1 Het aantal klassen

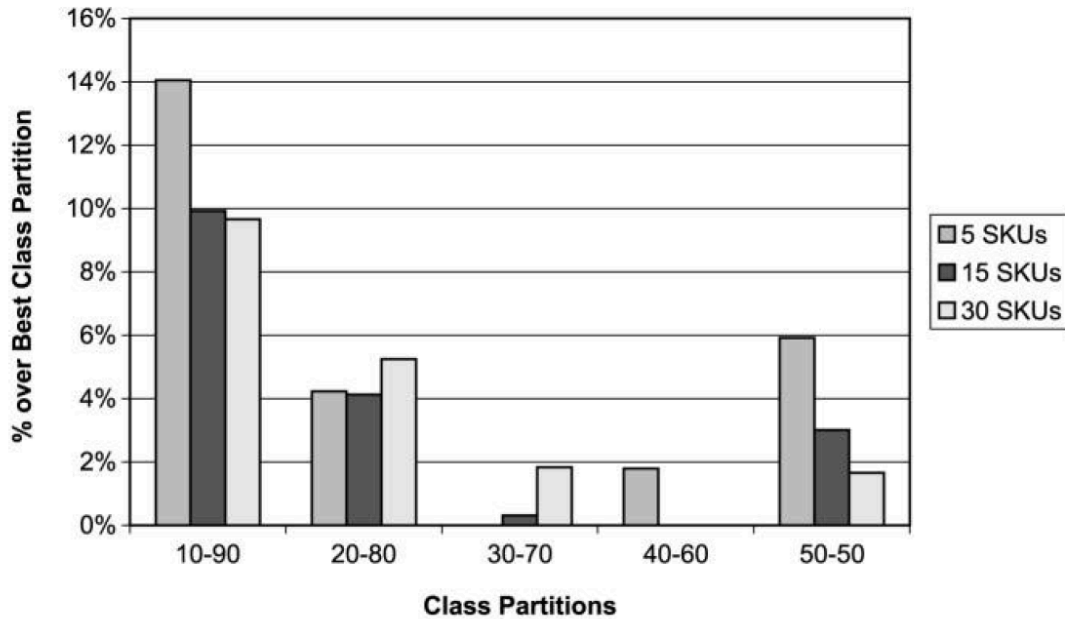
Uit Figuur 13 valt af te leiden dat bij conventioneel onderzoek, de gemiddelde reistijd daalt naarmate het aantal klassen stijgt. De aangenomen assumptie is dat de totale benodigde plaats niet afhankelijk is van het aantal klassen. De situatie komt voor wanneer het aantal opslaglocaties in elke klasse voldoende hoog of oneindig is. Volgens de studie van Yu, Koster en Guo (2015) is de assumptie niet geldig in de praktijk. Dezelfde mening wordt gedeeld door Graves, Hausman en Schwarz (1977), zij merken op dat voldoende plaats beschikbaar moet zijn voor het stockeren van inkomende producten. De beschikbare plaats moet 30% tot 50% groter zijn dan het gemiddelde voorraadniveau. De redenering hierachter is dat de hoeveelheid voorraad varieert doorheen de tijd en magazijnen moeten voorbereid zijn op momenten met een hoger voorraadniveau dan het gemiddelde voorraadniveau. Daardoor zal de vereiste plaats evenredig met het aantal klassen stijgen. De stijging in de vereiste plaats wordt veroorzaakt door een daling in het aantal producten per klasse. Hierdoor is gemiddeld gezien meer plaats nodig per product. De bevindingen van Yu, Koster en Guo (2015) worden getoond op Figuur 13. Hieruit blijkt dat een optimale oplossing kan bekomen worden door het aantal klassen te laten variëren in een gebied van drie tot acht klassen. Het gevolg hiervan is dat managers het aantal klassen kunnen laten variëren zonder al te veel consequenties.



Figuur 13: Reistijd volgens twee visies (Yu, Koster & Guo, 2015)

3.6.2 De klassenverdeling

Een klassenverdeling staat voor het procentueel aantal producten dat in de eerste klasse wordt geplaatst tegenover het procentueel aantal producten in de resterende klassen. Zo betekent een klassenverdeling van 30-70 dat de 30% beste producten op basis van verkoopvolume in de eerste klasse worden geplaatst en de andere 70% van de producten in de resterende klassen. Figuur 14 toont voor verschillende klassenverdelingen het percentage additionele tourlengte tegenover de best mogelijke klassenverdeling bij een bepaalde grootte van de picklijst. Uit de figuur is af te leiden dat de best mogelijke klassenverdeling 30-70 is bij een picklijst van vijf producten en 40-60 bij een picklijst van 15 tot 30 producten. In het geval dat het aantal producten in de eerste klasse kleiner is dan 30% van alle producten, zal een klein aantal producten worden toegewezen aan de gunstige opslaglocaties van het klasse A-gebied. Zo is te zien op Figuur 14 dat een klassenverdeling van 10-90 met een picklijst van vijf producten, gemiddeld gezien een 14% langere tourlengte genereert dan de situatie met een klassenverdeling van 40-70 en een picklijst van vijf producten. Anderzijds, indien het merendeel van de producten in de eerste klasse wordt geplaatst, zal weinig onderscheid kunnen gemaakt worden tussen de vraag van de producten uit klasse A en de vraag van de overige klassen. Hierdoor zal de prestatie van op klasse gebaseerde opslag aanleunen tegen random opslag (Petersen & Aase, 2004). Zo is te zien op Figuur 14 dat een klassenverdeling van 50-50 met een picklijst van vijf producten gemiddeld gezien een 6% langere tourlengte genereert dan de situatie met een klassenverdeling van 40-70 en een picklijst van vijf producten.



Figuur 14: Het effect van de verdeling van de vraag op de gemiddelde tourlengte (Petersen & Aase, 2004)

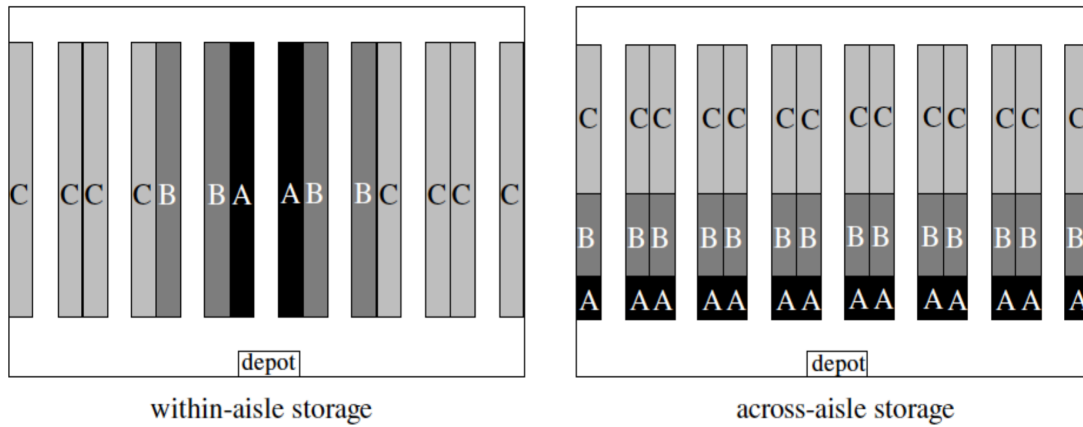
3.6.3 De plaatsing van de klassen in het magazijn

De klassen van producten kunnen op verschillende manieren in het magazijn worden geïmplementeerd. Petersen en Schmenner (1999) bespreken vier verschillende methoden voor het plaatsen van klassen in een magazijn. De verschillende methoden van plaatsing zullen hieronder, aan de hand van Figuur 16, worden uitgelegd. Op de figuur wordt gebruik gemaakt van drie klassen. Het gebied van klasse A-producten wordt in het donker grijs geïllustreerd, het gebied van klasse B-producten wordt in het matig grijs aangeduid en het gebied van klasse C-producten wordt in het licht grijs weergegeven.

Bij diagonale opslag worden de producten in een diagonaal patroon opgeslagen. De klasse A-producten worden dichtbij het depot geplaatst en de klasse C-producten worden zo ver mogelijk van het depot geplaatst (Petersen & Schmenner, 1999).

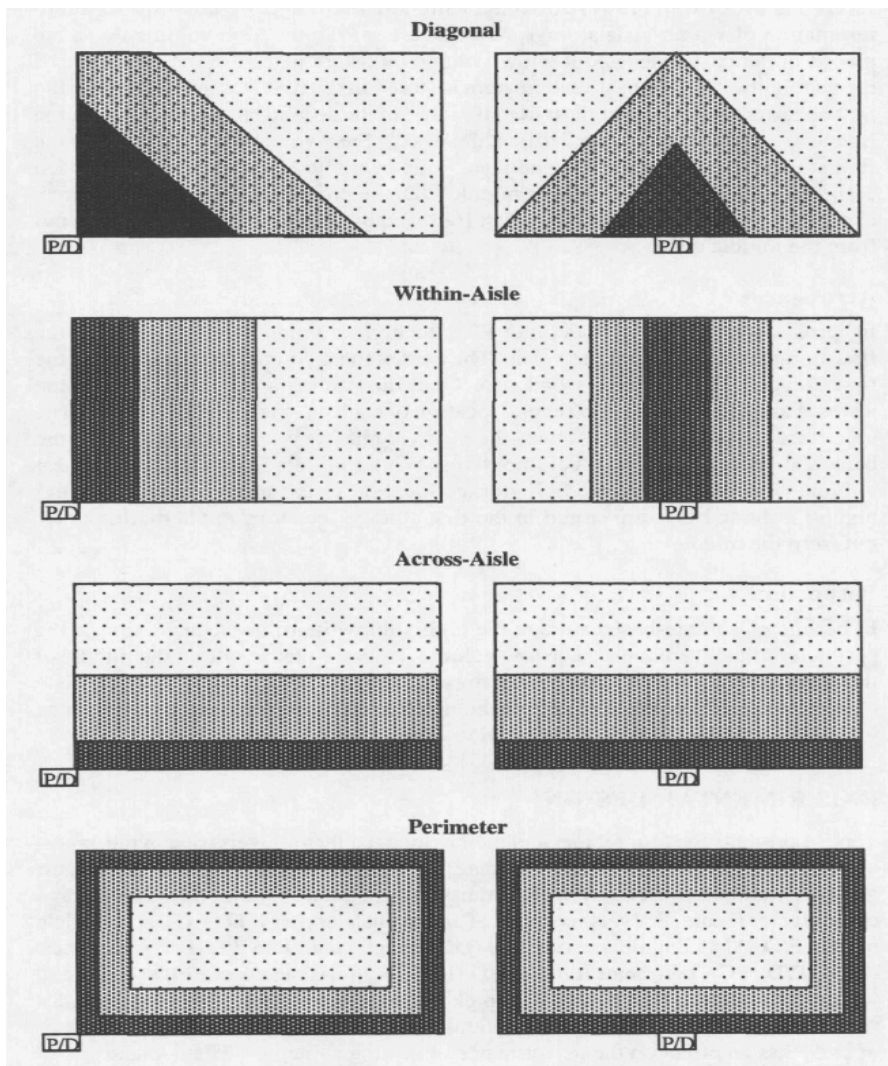
Bij Within-Aisle zullen de klasse A-producten in de pickgangen dichtbij het depot geplaatst worden en de klasse C-producten in de pickgangen veraf van het depot. Een pickgang zal specifiek aan één specifieke klasse worden toegewezen (Petersen & Schmenner, 1999).

Bij Across-Aisle worden de klasse A-producten in de eerste opslaglocaties van de pickgangen geplaatst, de klasse B-producten worden in de opslaglocaties achter de klasse A-producten geplaatst, enzovoort. Het verschil met Within-Aisle wordt verduidelijkt met Figuur 15, hierop is te zien dat bij Across-Aisle opslag meerdere klassen aan één pickgang kunnen worden toegewezen, wat niet het geval is bij Within-Aisle opslag (Petersen & Schmenner, 1999).



Figuur 15: Het verschil tussen Within-Aisle en Across-Aisle opslag (Tompkins et al., 2010)

Bij de perimeter methode worden de klasse A-producten rond een perimeter geplaatst. De klasse C-producten worden in het midden van de pickgangen geplaatst (Petersen & Schmenner, 1999).



Figuur 16: Varianten van op verkoopvolume gebaseerde opslag (Petersen & Schmenner, 1999)

3.6.3.1 Vergelijking van de verschillende methoden van plaatsing van klassen

De vier methoden van plaatsing zijn verder opgesplitst op basis van de plaatsing van het depot. Een eerste situatie is waarbij het depot in het midden van de eerste dwarsgang wordt geplaatst. De situatie wordt duidelijk gemaakt in Tabel 2 met het achtervoegsel "Middle". De tweede situatie is waarbij het depot op de hoek van de eerste dwarsgang wordt geplaatst. De situatie wordt duidelijk gemaakt in Tabel 2 met het achtervoegsel "Corner". Uit Tabel 2 is af te leiden dat de gemiddelde tourlengte het laagste is bij Within-Aisle. Zo is de tourlengte bij Across-Middle gemiddeld 13,1% hoger dan bij Within-Middle. De auteurs merken ook op dat de plaatsing van het depot een significant effect heeft op de resultaten. In het algemeen is een voorraad-toewijzingsmethode met het depot in het midden van de eerste dwarsgang beter dan een voorraad-toewijzingsmethode met het depot op de hoek van de eerste dwarsgang. De Across-Aisle methode op Figuur 16 wordt als voorbeeld genomen om het fenomeen uit te leggen. In het geval dat het depot in het midden van de eerste dwarsgang wordt geplaatst, zullen gemiddeld gezien de klasse A-producten dichterbij het depot gelegen zijn. Doordat klasse A-producten de meerderheid van de picking activiteiten omslaat, zal een daling plaatsvinden in de gemiddelde afgelegde afstand.

Storage Policy	Percent	
	Mean Route	over WM
Within-Middle (WM)	387.0	–
Within-Corner (WC)	392.2	1.3
Diagonal-Corner (DC)	418.5	8.1
Diagonal-Middle (DM)	423.6	9.5
Across-Middle (AM)	437.8	13.1
Across-Corner (AC)	443.8	14.7
Perimeter-Middle (PM)	455.1	17.6
Perimeter-Corner (PC)	458.2	18.4
Mean	427.0	

Tabel 2: Vergelijking van de verschillende methoden van plaatsing van klassen (Petersen & Schmenner, 2000)

Zoals eerder aangehaald is in het algemeen een voorraad-toewijzingsmethode met het depot in het midden van de eerste dwarsgang beter dan een voorraad-toewijzingsmethode met het depot op de hoek van de eerste dwarsgang. Het verschil in tourlengte tussen twee voorraad-toewijzingsmethoden wordt echter kleiner naarmate de picklijst groter wordt en vanaf een bepaalde grootte van de picklijst wordt het verschil in prestatie tussen twee voorraad-toewijzingsmethoden insignificant. Tabel 3 bevestigt het effect van de grootte van een picklijst op de grootte van het verschil in prestatie door een verschillende plaatsing van het depot. De aangehaalde tabel toont voor de verschillende opslagmethoden procentueel de extra tourlengte tegenover de referentiemethode, namelijk Within-Aisle met een plaatsing van het depot in het midden van de eerste dwarsgang. Across-Aisle met een depot in de hoek van de eerste dwarsgang wordt als voorbeeld genomen: bij een picklijst van vijf producten is de tourlengte bij de methode 34,5% langer dan de referentiemethode bij eenzelfde grootte van de picklijst. Naarmate de picklijst

groter wordt, daalt het procentuele verschil in tourlengte tussen de referentiemethode en de methode. Een verklaring hiervoor is dat indien de picklijst groter wordt zullen meer producten verzameld worden waardoor onafhankelijk van de methode van plaatsing een groter gebied van het magazijn doorlopen moeten worden (Petersen & Schmenner, 2000).

Storage Policy	Pick List Size					Mean
	5	15	25	35	45	
WM	–	–	–	–	–	–
WC	10.1	6.7	4.1	3.3	1.9	4.4
PM	36.4	19.6	12.4	10.0	8.4	14.6
DC	20.2	22.3	13.8	13.7	9.7	14.9
DM	9.5	20.7	15.2	15.1	12.8	14.9
PC	47.4	22.3	12.5	10.3	8.6	16.4
AM	20.9	25.6	20.6	18.4	14.3	19.3
AC	34.5	28.5	20.8	18.5	14.4	21.4

Tabel 3: Het effect van de ordergrootte (Petersen & Schmenner, 2000)

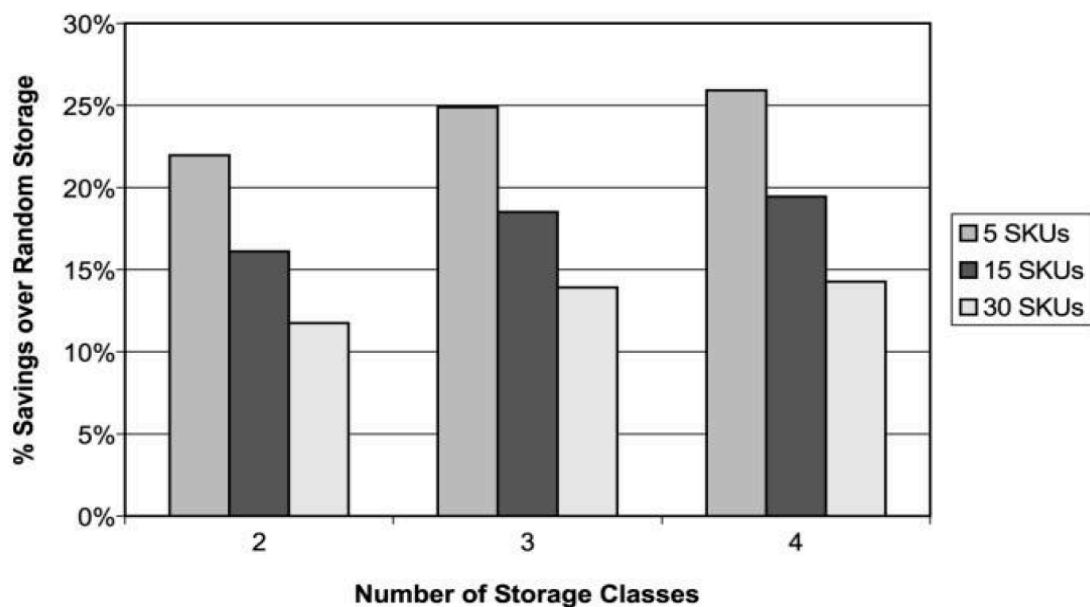
Naast de lengte van een picklijst zal de scheefheid van de vraag ook een invloed hebben op de grootte van het effect van de plaatsing van het depot. De scheefheid van de vraag staat voor de verdeling van de totale vraag van de producten. Bij een hoge scheefheid van de vraag zal een laag aantal producten zorgen voor de grotere meerderheid van de vraag. Tabel 4 heeft dezelfde interpretatie als Tabel 3, dat wil zeggen het toont voor de verschillende opslagmethoden procentueel de extra tourlengte tegenover de referentiemethode, namelijk Within-Aisle met een plaatsing van het depot in het midden van de eerste dwarsgang. Across-Aisle met een depot in de hoek van de eerste dwarsgang wordt als voorbeeld genomen. Bij een lage scheefheid van de vraag zal de methode een 14,6% langere tourlengte hebben dan de referentiemethode bij eenzelfde scheefheid van de vraag. Naarmate de vraag schever wordt, stijgt het procentuele verschil in tourlengte tussen de twee methoden. Een verklaring is dat bij een hoge scheefheid van de vraag, een klein aantal producten een groot deel van de totale vraag omslaat. Hierdoor zal een klein aantal producten vaak bezocht worden. Een niet optimale plaatsing van de klassen zal hierdoor leiden tot een langere tourlengte (Petersen & Schmenner, 2000).

Storage Policy	Demand Skewness			Mean
	Low	Medium	High	
WM	–	–	–	–
WC	2.1	4.8	7.3	4.4
PM	7.3	16.4	22.8	14.6
DC	10.3	18.4	17.3	14.9
DM	10.8	19.8	15.2	14.9
PC	6.8	18.7	27.3	16.4
AM	12.8	23.6	23.7	19.3
AC	14.6	25.1	26.8	21.4

Tabel 4: Het effect van scheefheid van de vraag (Petersen & Schmenner, 2000)

3.6.4 Vergelijking van op klasse gebaseerde opslag met random opslag

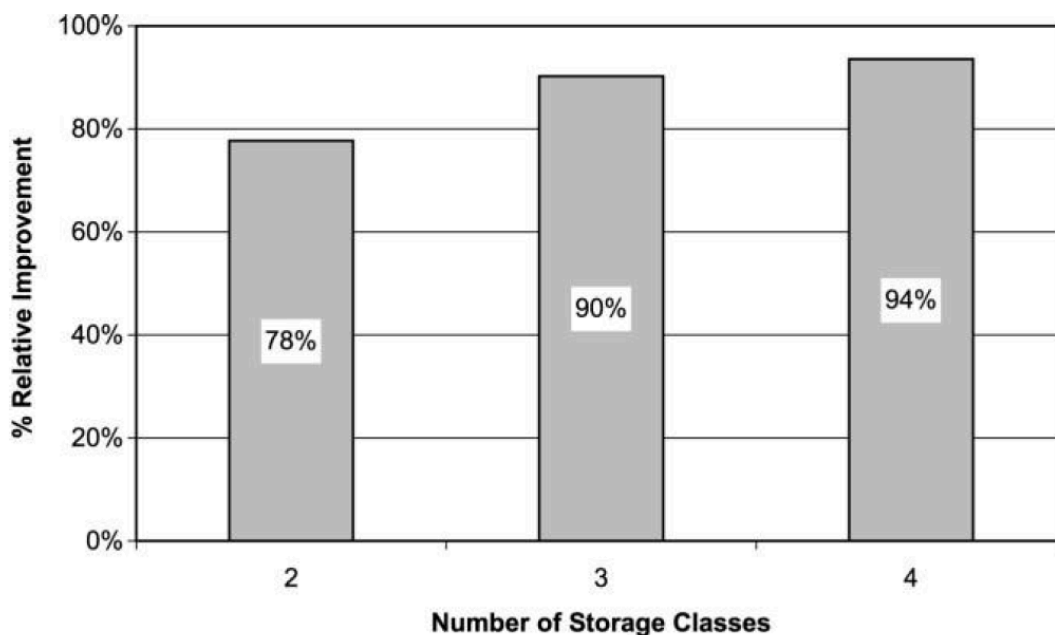
Figuur 17 toont een vergelijking tussen op klasse gebaseerde opslag en random opslag. Het verschil in prestatie tussen beide methoden wordt getoond door middel van de procentuele vermindering in tourlengte door het gebruik van op klasse gebaseerde opslag tegenover random opslag. Het gebruik van op klasse gebaseerde opslag zorgt voor een besparing in tourlengte van minimum 12% en maximum 26% tegenover random opslag. Op de figuur is ook te zien dat de grootte van vermindering in tourlengte afhankelijk is van de grootte van de picklijst. Grote picklijsten zorgen voor minder grote verminderingen in tourlengte dan kleine picklijsten (Petersen & Aase, 2004). Het verschil in de grootte van vermindering in tourlengte kan verklaard worden doordat bij grote picklijsten de waarschijnlijkheid in een niet vaak voorkomend product groter is. Een niet vaak voorkomend product komt te liggen op opslaglocaties ver gelegen van het depot. Als gevolg zal bij grote picklijsten de orderpicker onafhankelijk van de voorraad-toewijzingsmethode een groot deel van de pickgangen moeten bewandelen. Het is hierdoor niet mogelijk om een groot verschil in prestatie te creëren tussen random opslag en op klasse gebaseerde opslag. Figuur 17 toont ook dat een groot deel van de besparingen in tourlengte behaald kan worden door het introduceren van twee klassen. Zo is op de figuur te zien dat bij een picklijst van vijf producten en twee klassen een procentuele besparing in tourlengte van 22% tegenover random opslag verwezenlijkt wordt. Bij eenzelfde grootte van picklijst en vier klassen wordt een procentuele besparing in tourlengte van 26% tegenover random opslag verwezenlijkt. Het verschil in besparing in tourlengte weegt niet op tegen het gemak van implementatie bij twee klassen. Vorig gegeven is in lijn met de studie van Yu, Koster en Guo (2015).



Figuur 17: Het effect van het aantal klassen en ordergroottes (Petersen & Aase, 2004)

3.6.5 Vergelijking van op klasse gebaseerde opslag met op verkoopvolume gebaseerde opslag

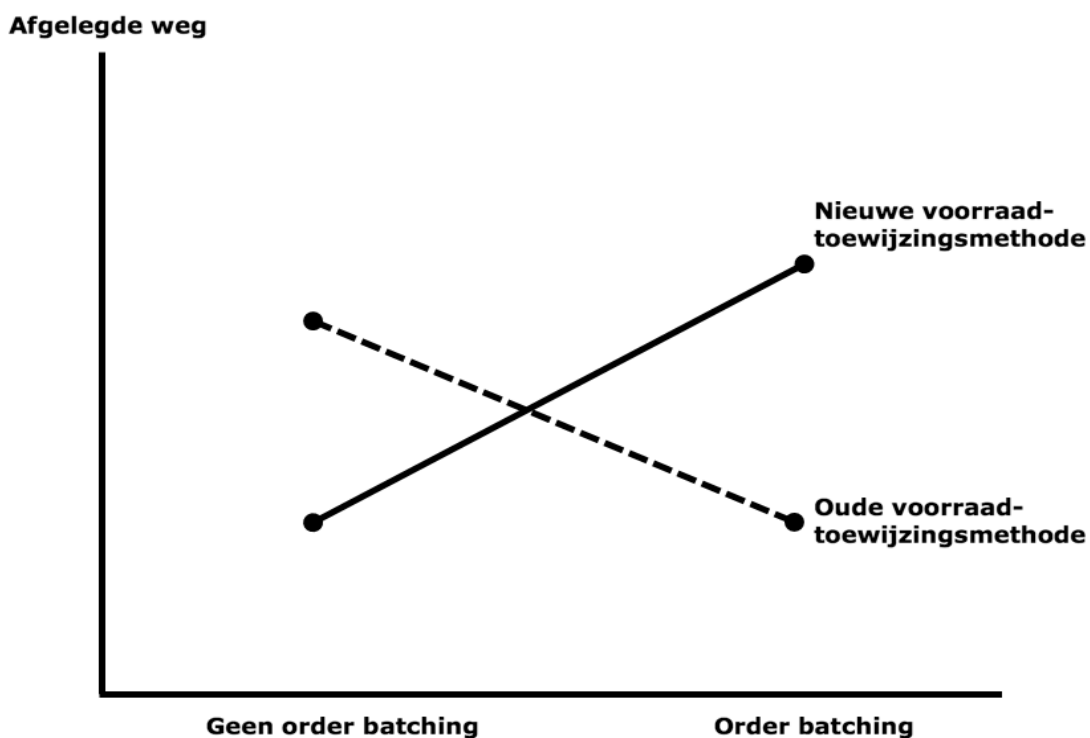
Allereerst dient het verschil tussen de twee methoden verduidelijkt te worden. Bij op klasse gebaseerde opslag worden alle producten in klassen onderverdeeld op basis van de verwachte vraag. Terwijl bij op verkoopvolume gebaseerde opslag worden alle producten gerangschikt op basis van het verkoopvolume en daarna individueel toegewezen aan een opslaglocatie. Een voordeel bij op klasse gebaseerde opslag is dat geen volledige ranking van de producten vereist is, alleen maar een manier voor de producten te classificeren in klassen. Door middel van Figuur 18 wordt het verschil in prestaties tussen op klasse gebaseerde opslag en op verkoopvolume gebaseerde opslag verduidelijkt. De figuur toont de relatieve verslechtering in tourlengte door het toepassen van op klasse gebaseerde opslag tegenover op verkoopvolume gebaseerde opslag. Om de figuur te verduidelijken zal de situatie met twee klassen worden uitgelegd. Door het toepassen van op klasse gebaseerde opslag met twee klassen wordt een relatieve verslechtering in tourlengte gerealiseerd van 22% tegenover de situatie met op verkoopvolume gebaseerde opslag. Op de figuur is te zien dat het verschil in prestaties tussen op klasse gebaseerde opslag en op verkoopvolume gebaseerde opslag daalt indien het aantal klassen stijgt. Zo daalt de relatieve verslechtering tegenover op verkoopvolume gebaseerde opslag van 22% bij twee klassen naar 6% bij vier klassen. De daling in het verschil in prestaties impliceert dat een laag aantal klassen voldoende is, aangezien ongeveer 80% van de voordelen van op verkoopvolume gebaseerde opslag kan bereikt worden met twee klassen.



Figuur 18: Het verschil in prestatie tussen op klasse gebaseerde opslag met op verkoopvolume gebaseerde opslag (Petersen & Aase, 2004)

3.7 Samenwerking tussen order batching en voorraad-toewijzingsmethoden

Naar de samenwerking tussen order batching en de verschillende voorraad-toewijzingsmethoden is tot op heden weinig onderzoek gedaan. Het artikel van Petersen & Aase (2004) geeft een inleiding tot het mogelijk interactie-effect van beide methoden door het onderzoeken van de besparingen bij het toepassen van beide methoden, zowel afzonderlijk als gezamenlijk. Aan de hand van Figuur 19 wordt het begrip interactie-effect uitgelegd. Op de figuur is te zien dat het effect van order batching op de afgelegde afstand afhankelijk is van de gebruikte voorraad-toewijzingsmethode en andersom. De situatie duidt op de aanwezigheid van een interactie-effect. Het resultaat uit het artikel van Petersen & Aase (2004) is dat ongeveer dezelfde besparingen in tourlengte gerealiseerd worden door enerzijds het toepassen van First-Come-First-Served batching en het toepassen van klasse gebaseerde opslag of volume gebaseerde opslag. Een bijkomende bevinding is dat een optimaal resultaat behaald kan worden door het toepassen van order batching in combinatie met op verkoopvolume of klasse gebaseerde opslag. De bevinding wijst op de aanwezigheid van een positief interactie-effect, aangezien het effect van order batching afhankelijk is van de gekozen voorraad-toewijzingsmethode.



Figuur 19: Illustratie van interactie-effect

3.8 Conclusie en link met praktijkstudie

In veel studies wordt random opslag gebruikt als ondergrens voor de evaluatie van andere voorraad-toewijzingsmethoden. Logischerwijze in het geval dat een voorraad-toewijzingsmethode relatief slechter presteert dan random opslag, dient de voorraad-toewijzingsmethode niet verder te worden onderzocht. De praktijkstudie zal hiervan afwijken door de huidige voorraad-toewijzingsmethode van het bedrijf H. Essers als ondergrens te gebruiken. De huidige voorraad-toewijzingsmethode bij het bedrijf is een combinatie van toegewijde opslag en op klasse gebaseerde opslag. Het magazijn is opgesplitst in drie delen, namelijk base, zure en ontvlambare producten. De opdeling is ontstaan uit veiligheidsredenen. Binnen de groepering van base producten wordt gewerkt met twee klassen. Deze manier van werken is voordelig gebleken in de theorie omwille van twee redenen. Door het implementeren van twee klassen kan enerzijds worden genoten van de voordelen van op klasse gebaseerde opslag en anderzijds kan gebruik gemaakt worden van een eenvoudige implementatie. Bij het uitvoeren van de praktijkstudie zal niet het effect van op verkoopvolume gebaseerde opslag onderzocht worden. De praktijkstudie zal wel focussen op een combinatie van toegewijde opslag en de invoering van twee klassen. Bij de twee klassen wordt gevarieerd in twee factoren: de klassenverdeling en de plaatsing van de klassen in het magazijn. Door te variëren in de twee factoren wordt getracht een optimale magazijn lay-out te bekomen zonder veel kostelijke of complexe wijzingen te moeten doorvoeren aan de huidige situatie.

4. Wat is het effect van het implementeren van de verschillende technieken bij het bedrijf H. Essers?

Nadat de theorie over order batching en voorraad-toewijzingsmethoden is bestudeerd, zal een eigen empirisch onderzoek worden opgezet. Eerst zullen in Sectie 4.2 alle geldende assumpties worden besproken. Vervolgens worden in Sectie 4.3 alle te onderzoeken algoritmen uitgelegd. In Sectie 4.4 wordt de gebruikte dataset voor het experiment verklaard. Hierna wordt in Sectie 4.5 de afhankelijke variabele van het experiment uitgelegd; de afgelegde afstand. De opbouw van het experiment wordt verduidelijkt in Sectie 4.6. De resultaten worden per experiment besproken in Sectie 4.7. In Sectie 4.8 wordt het experiment kritisch geanalyseerd. Ten slotte volgt een besluit in Sectie 4.9

4.2 Algemene assumpties en lay-out van het magazijn

In deze sectie zullen de aangenomen assumpties worden opgesomd en verder worden verklaard. Ook zal de lay-out van het magazijn worden geschetst omwille van de invloed van de lay-out op de experimentopzet. De aangenomen assumpties zijn de volgende:

- Alle informatie van de te verzamelen orders is op voorhand bekend;
- De orderlijst wordt volgens FIFO-methodologie verwerkt. FIFO-methodologie betekent dat alle orders op chronologische wijze worden afgehandeld;
- Het depot bevindt zich linksonder in het magazijn en is gevestigd op een vaste plaats. Een order picking route start en eindigt steeds bij het depot. De lay-out van het magazijn kan geraadpleegd worden in Bijlage 2;
- De hoogte van de opslaglocaties speelt geen rol bij het bepalen van de afgelegde afstand; Met andere woorden, het magazijn wordt als tweedimensionaal beschouwd. De reden hiervoor is dat alle picking activiteiten op grondniveau gebeuren;
- Een pickgang is breed genoeg dat twee orderpickers elkaar zonder problemen kunnen kruisen. Als gevolg kunnen meerdere orderpickers in één pickgang aanwezig zijn;
- De gebruikte routingstechniek is de combined heuristiek, waarbij elementen van de S-shape en return strategie worden geïmplementeerd.;
- Alle producten worden op basis van producteigenschappen opgedeeld in drie categorieën: base, zure en ontvlabbare producten. De verschillende soorten producten dienen apart gestockeerd te worden, conform de geldende veiligheidsregels;
- In de huidige voorraad-toewijzingsmethode wordt alleen bij base producten aan op klasse-gebaseerde toewijzing gedaan. De plaatsing van de twee klassen wordt getoond in Bijlage 2. Nadat aan op klasse-gebaseerde opslag is gedaan zullen de base en zure producten toegewezen worden aan een opslaglocatie op basis van gewicht. De zwaarste producten worden geplaatst in de pickgangen dichtbij het depot en naarmate het gewicht afneemt worden producten in de pickgangen verder van het depot geplaatst;

- Bij de huidige pickingmethode wordt gebruik gemaakt van het sort-while-pick principe. Dit principe wil zeggen dat alle producten tijdens het verzamelen worden gesorteerd. Ook dienen orderpickers na het verzamelen van alle producten het verzamelde palet af te zetten bij het depot. Orderpickers krijgen dan een nieuwe pickroute toegewezen. Bij de huidige pickingmethode is één plaats op het picking-voertuig voorbehouden voor lege paletten. Bij het begin van de shift zal een orderpicker een stapel lege paletten verzamelen. Naarmate de lege paletten verminderen zal een orderpicker lege paletten uit de opslaglocaties verzamelen. Bij het toepassen van order batching zullen gedurende de shift geen lege paletten worden verzameld, waardoor extra pickronden nodig zijn voor het verzamelen van de lege paletten. Bij het berekenen van de af te leggen afstand zal geen rekening worden gehouden met deze extra pickronden/

4.3 De gebruikte algoritmen

Teneinde het experiment uit te voeren moet een combinatie gemaakt worden tussen een order batching algoritme, voorraad-toewijzingsmethode en een routeringsalgoritme. Eerst zal in Sectie 4.3.1 het voorgestelde order batching algoritme worden uitgelegd. Daarna zullen in Sectie 4.3.2 de huidige en alternatieve voorraad-toewijzingsmethoden worden toegelicht. Ten slotte zal het gebruikte routeringsalgoritme worden verklaard in Sectie 4.3.3.

4.3.1 Order batching algoritmen

In het experiment zal een vergelijking worden gemaakt tussen de situaties zonder order batching en met order batching. De gekozen order batching methode is het algoritme gebaseerd op prioriteiten. De prioriteiten worden toegekend op First-Come-First-Served basis. De twee redenen hiervoor zijn het gebruiksgemak van het algoritme en de chronologische vereiste; alle binnenkomende orders moeten worden uitgevoerd op een chronologische wijze omwille van planningsredenen. Het algoritme omvat twee stappen. In de eerste stap van het algoritme dienen prioriteiten bepaald te worden voor elk klantenorder. Het toekennen van prioriteiten gebeurt via de First-Come-First-Served regel. Bij de FCFS-methode wordt de hoogste prioriteit toegekend aan de eerst inkomende orders en daalt de prioriteit naarmate de orders later binnenkomen in het proces. Na het bepalen van de prioriteit van de klantenorders zullen in de tweede stap de klantenorders overeenstemmend met de toegekende prioriteiten toegekend worden aan batches. Bij het toekennen van klantenorders aan batches zal rekening gehouden worden met de capaciteit van het picking-voertuig, namelijk twee paletnummers. De redenering hierachter is dat een picking-voertuig producten van maximum twee paletnummers kan verzamelen. Indien de capaciteit van het picking-voertuig is bereikt zal een nieuwe batch worden geopend en zullen opnieuw klantenorders hieraan worden toegewezen.

4.3.2 Voorraad-toewijzingsmethoden van de producten

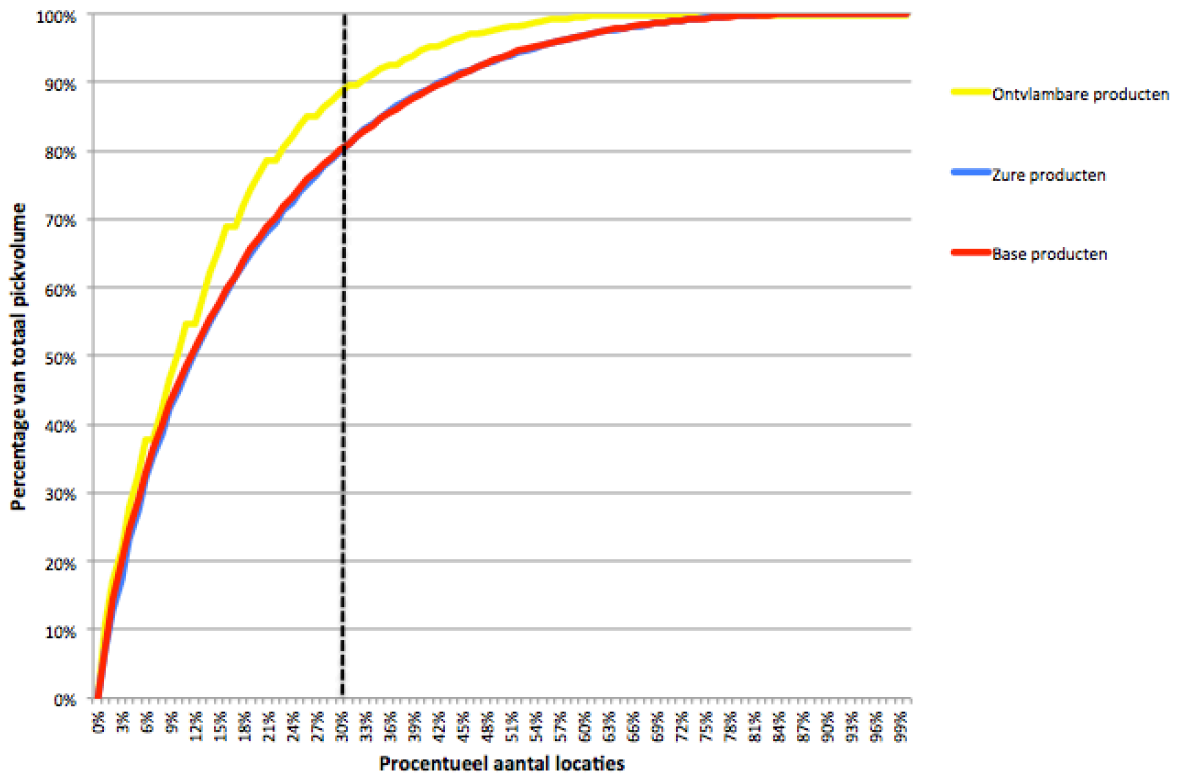
H. Essers zou graag informatie willen hebben over het effect van een aangepaste implementatie van op klasse-gebaseerde opslag. Eerst zal de huidige voorraad-toewijzingsmethode worden toegelicht en daarna een alternatieve voorraad-toewijzingsmethode.

4.3.2.1 Huidige voorraad-toewijzingsmethode

Bij de huidige voorraad-toewijzingsmethode zal een combinatie worden toegepast van op klasse-gebaseerde opslag en voorraad-toewijzing op basis van gewicht. Eerst worden alle producten op basis van producteigenschappen onderverdeeld in drie gebieden; een base-gebied, een zuur-gebied en een onvlambaar gebied. De keuze voor deze onderverdeling is ontstaan uit veiligheidsoverwegingen. Op klasse-gebaseerde opslag wordt alleen toegepast bij base producten. In het huidige systeem worden twee klassen van base producten gedefinieerd. De plaatsing van de twee klassen is te zien op Bijlage 2. De toewijzing van onvlambare producten gebeurt via random-opslag. De reden hiervoor is dat bij onvlambare producten weinig producten in één pickgang moeten geplaatst worden. Nadat aan op klasse-gebaseerde opslag is gedaan, zullen de base en zure producten worden toegewezen op basis van hun brutogewicht. De zwaarste producten worden in de pickgangen dichtbij het depot geplaatst en de lichtste producten in de pickgangen het verst van het depot. De reden hiervoor is dat met de geldende routeringsmethode de zwaarste producten eerst worden verzameld en dat de palet wordt opgevuld met lichte producten. Door deze manier van werken zal het stapelen van de producten op de palet vergemakkelijkt worden.

4.3.2.2 Alternatieve voorraad-toewijzingsmethode

De alternatieve voorraad-toewijzingsmethode zal nog steeds bestaan uit een combinatie van op klasse-gebaseerde opslag en voorraad-toewijzing op basis van gewicht. De wijziging bestaat enkel uit de manier waarop aan op klasse-gebaseerde opslag wordt gedaan. Bij de alternatieve voorraad-toewijzingsmethode zal op klasse-gebaseerde opslag toegepast worden op base, zure en onvlambare producten. Bij de drie soorten producten wordt gewerkt met twee klassen. Het gebruik van twee klassen is voordelig gebleken in de theorie omwille van twee redenen. Enerzijds kan genoten worden van de voordelen van op klasse-gebaseerde opslag en anderzijds kan gebruik gemaakt worden van een eenvoudige implementatie. De reden waarom is gekozen om bij de drie soorten producten aan op klasse-gebaseerde opslag te doen is uitgelegd aan de hand van Figuur 20. De figuur toont het percentage van het totaal aantal opslaglocaties dat zorgt voor een bepaald percentage van het totaal pickvolume. Zo is te zien dat bij base en zure producten 80% van het pickvolume aan 30% van het totaal aantal opslaglocaties verbonden is. Bij onvlambare producten is zelfs 90% van het pickvolume verbonden aan 30% van de opslaglocaties. Deze bevinding toont aan dat het gebruik van op klasse-gebaseerde opslag voordelig kan zijn bij de drie soorten producten.



Figuur 20: Verdeling van producten over opslaglocaties

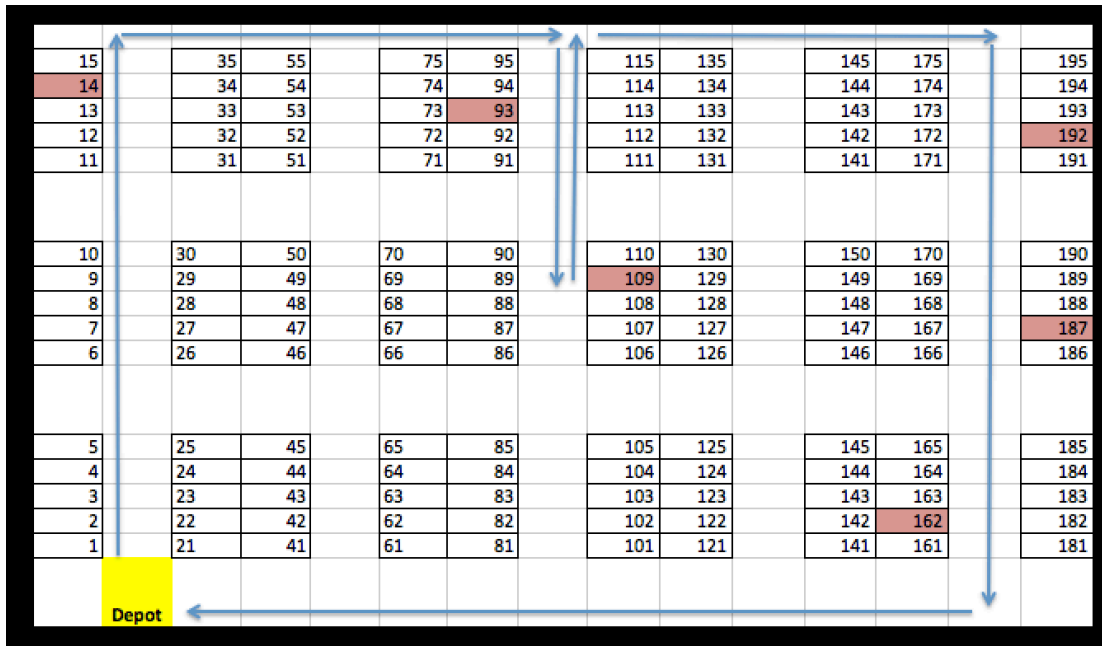
Bij het gebruik van op klasse-gebaseerde opslag dienen twee factoren gedefinieerd te worden, namelijk de plaatsing van de klassen in het magazijn en de klassenverdeling. Bij zure en base producten wordt voor de plaatsing van de klassen gebruik gemaakt van de Across-Aisle methode. De plaatsing van de klassen is te zien in Bijlage 3. De keuze voor de Across-Aisle methode is gemaakt om eventuele congestie te vermijden en bovendien is de methode voordelig bij het toewijzen van producten op basis van gewicht. Door het toepassen van de Across-Aisle methode zullen beide klassen geplaatst worden over alle pickgangen heen, en bijgevolg worden de pick-activiteiten over alle pickgangen heen gespreid. Voor ontvlambare producten wordt gekozen om de klasse A-producten te plaatsen op de opslaglocaties met de kortste afstand tot het depot. Voor de tweede te bepalen factor, namelijk de klassenverdeling, is gekozen voor een klassenverdeling van 30/70. Een klassenverdeling van 30/70 betekent dat de 30% beste producten op basis van het verkoopvolume in klasse-A worden geplaatst en de andere 70% van de producten in klasse-B. De reden voor het gebruik van een klassenverdeling van 30/70 is gebaseerd op de inhoud van Sectie 3.6.2. Uit deze sectie is af te leiden dat een klassenverdeling van 30/70 de beste resultaten geeft.

4.3.3 Routeringsalgoritme

Het gekozen routeringsalgoritme is de combined methode, aangezien het in de praktijk wordt gebruikt bij H. Essers. Bij de combined methode betreedt de orderpicker een pickgang als minstens één gevraagd product zich in de pickgang bevindt. De orderpicker kan kiezen om de complete pickgang te doorlopen of terug te keren naar de vorige dwarsgang. Daarna gaat de orderpicker

naar een volgende pickgang waar andere gevraagde producten zich bevinden (Henn, Sebastian, Koch, & Wäscher, 2012). In onderstaande figuur wordt de combined heuristiek voorgesteld.

Figuur 21 toont het combined routeringsalgoritme voor een magazijn bestaande uit meerdere blokken. De blauwe lijnen op de figuur tonen de af te leggen route van een orderpicker en de op te halen producten worden aangeduid met een rode arcering van de opslaglocaties.



Figuur 21: illustratie van het combined routeringsalgoritme

4.4 Verklaring dataset

Voor het uitvoeren van het experiment werden drie bestanden gebruikt: een orderlijst van november 2016, een itemmaster en een stocklijst. De drie bestanden zullen hieronder verder worden uitgelegd.

4.4.1 Itemmaster

In het bestand itemmaster worden specificaties gegeven van de producten uit het magazijn. Een illustratie van het bestand wordt gegeven op Figuur 22. De kolommen van belang zijn de kolommen met de productcode, brutogewicht en uitleg van de pH-waarde. De pH-waarde van een product definieert in welk gebied van het magazijn het product thuishoort. Het brutogewicht staat voor het gewicht van één product inclusief verpakking. Het brutogewicht van een product zal gebruikt worden bij de voorraad-toewijzing.

Productcode	Product naam	Bruto Gewicht	PH waarde	uitleg PH waarde
9081510	ASEPTOPOL EL 75 4X1L	4,26	A	Alkaal
3087450	INCIDIN OXYFOAM S 2X5L	5,87	Z	Zuur
3079380	KLERWIPE 70/30 IPA 20X15PC	11,73	ON	Ontvlambaar neutraal

Figuur 22: Illustratie van de itemmaster

4.4.2 Orderlijst

In het bestand orderlijst worden alle orders voor de maand november gegeven. Een illustratie van het bestand wordt gegeven op Figuur 23. De kolommen met een meerwaarde zijn de kolommen met paletnummer en productcode. Met behulp van de gegevens op de figuur kan berekend worden uit hoeveel orderlijnen en welke productcodes een te verzamelen palet is opgebouwd. De kolom ordernummer is niet belangrijk aangezien het order picking proces bij H. Essers georganiseerd is op paletniveau. Ook de kolom met het aantal te verzamelen producten is niet van belang, aangezien tijdens het opstellen van de pickronden geen rekening dient te worden gehouden met het aantal te verzamelen producten. De reden hiervoor is dat H. Essers de volumerestricties reeds incalculeerde bij opstellen van de paletnummers.

Ordernummer	Orderlijn	Productcode	Aantal	Palet nummer
400056677000	000210	3024750	75	000044023290
400065300400	000010	9054800	1	000044274193
400063891000	000190	9087050	77	000044332740

Figuur 23: Illustratie van de orderlijst

Meer cijfers over de data worden gegeven in Tabel 5. Op de tabel is te zien dat in de maand november 35.005 orderlijnen zijn verzameld. De meerderheid van de verzamelde orderlijnen heeft betrekking op zure en base producten. In totaal zijn 2.244 opslaglocaties beschikbaar voor het plaatsen van 1.000 producten in het magazijn, hetgeen betekent dat één product aan verschillende opslaglocaties kan toegewezen worden.

	Aantal uitgevoerde orderlijnen	Aantal beschikbare opslaglocaties	Aantal producten
Zure producten	13.246	880	427
Ontvlambare producten	2.286	164	73
Base producten	19.743	1.200	500
Totaal	35.005	2.244	1.000

Tabel 5: Cijfers over het bestand orderlijst

4.4.3 Stocklijst

In het bestand stocklijst wordt de voorraad van het magazijn op een bepaald tijdstip getoond. Een illustratie van het bestand wordt gegeven op Figuur 24. De kolommen van belang zijn de kolommen met de productcode en opslaglocatie van een product. Door de kolommen is geweten waar bij de huidige voorraad-toewijzingsmethode, de producten in het magazijn geplaatst zijn. Op het moment van de stocklijst opname waren 1.083 unieke opslaglocaties in gebruik. In de vorige sectie werd aangehaald dat 2.244 opslaglocaties beschikbaar zijn; dit wil zeggen dat tijdens het moment van opname 1.163 opslaglocaties ongebruikt zijn. Het hoge aantal ongebruikte opslaglocaties wijst op een relatief lage bezettingsgraad in het magazijn.

LOCATIE	Omschrijving	Productcode
L19504	COVER F.6L.RED.ERSATZ KA-	10011001
L10102	SPIRICLENS SPRAY ADAPTOR	10001257

Figuur 24: Illustratie van de stocklijst

4.5 Definiëren afhankelijke variabele

De keuze van een afhankelijke variabele is gebaseerd op de componenten van order picking. De gespendeerde tijd aan order picking is opgebouwd uit de insteltijd van de routes, de benodigde reistijd voor het verzamelen van de gewenste producten, de zoektijd omtrent de identificatie van de producten en de tijd nodig voor het picken van de goederen (Tompkins, White, Bozer, Frazelle, & Tanchoco, 2003). Van alle componenten is de reistijd de meest tijdrovende activiteit. De andere activiteiten worden als constante genomen aangezien geen verandering in tijdsduur zal plaatsvinden bij de activiteiten (Henn, Sebastian, Koch, & Wäscher, 2012). Bij H. Essers verplaatsen orderpickers zich doorheen het magazijn met een picking-voertuig. Als gevolg kan worden aangenomen dat de snelheid van verplaatsing constant is. Hierdoor zal de reistijd een functie zijn van de afgelegde afstand. Besloten kan worden dat de afhankelijke variabele van het experiment de afgelegde afstand is. De reisafstand van een pickronde is de af te leggen afstand om alle producten van een pickronde te verzamelen. Bij het bespreken van de resultaten zal gesproken worden van de reisafstand van één pickronde.

4.6 Experiment

In het experiment zullen vier situaties met elkaar worden vergeleken. De vier situaties worden getoond in Tabel 6. De eerste situatie is waarbij geen order batching zal plaatsvinden in combinatie met de huidige voorraad-toewijzingsmethode. Bij de tweede situatie zal, net zoals de vorige situatie, geen order batching plaatsvinden maar wel zal een alternatieve voorraad-toewijzingsmethode worden gebruikt. De derde situatie is een combinatie van order batching en de huidige voorraad-toewijzingsmethode. Bij de vierde situatie wordt gebruik gemaakt van order batching in combinatie de alternatieve voorraad-toewijzingsmethode. Bij het experiment zal één observatie bestaan uit twee paletnummers. Deze observatiegrootte is gekozen om de situatie zonder en met order batching te kunnen vergelijken. Het aantal replicaties is 3.246, hetgeen overeenkomt met de maandelijkse picking activiteiten bij H. Essers. Door het hoge aantal replicaties kunnen de resultaten als representatief worden beschouwd voor het bedrijf.

Voorraadtoewijzing	Order batching		
		Nee	Ja
	Huidig	Situatie 1	Situatie 3
	Nieuw	Situatie 2	Situatie 4

Tabel 6: Experimenteel ontwerp

Onderstaand zullen de stappen van het experiment worden toegelicht.

1. Indexering van alle opslaglocaties door middel van het toewijzen van een gangnummer, bloknummer en opslaglocatienummer. De indexering zorgt ervoor dat aan afstandsbepaling kan worden gedaan;
2. Opstellen van vier afstandsmatrixen, één afstandsmatrix voor elke dwarsgang. Door deze manier van werken zal elke mogelijke combinatie van verplaatsing tussen twee opslaglocaties berekend worden. Na het opstellen van de vier afstandsmatrixen dient de minimale afstand bepaald te worden voor elke combinatie in de afstandsmatrix;
3. Link de productcodes aan de opslaglocaties;
4. Sorteert de orderlijst op basis van datum van gewenste uitvoering;
5. Bepaal de prioriteit voor elk te verzamelen palet;
6. Indexeer alle opslaglocaties op zo een manier dat alle opslaglocaties dichtbij het depot een laag indexnummer hebben en naarmate de opslaglocaties verder van het depot gelegen zijn een hoger indexnummer hebben. Deze indexering wordt de basis voor het routeringsalgoritme;
7. Opstellen van pickronden
 - a. Geen order batching: H. Essers heeft reeds de optimale sortering gegeven. De sortering is gebaseerd op het gebruikte routeringsalgoritme, namelijk de combined methode;
 - b. Order batching: Twee te verzamelen paletten worden op basis van prioriteit gecombineerd in één batch. Hierna wordt een pickronde opgesteld voor de gecreëerde batch door middel van de combined heuristiek. De combined heuristiek werkt op basis van de indexering in stap 6. De opslaglocaties en het bijhorende indexnummer worden gesorteerd van klein naar groot;
8. Bepaal de afstand van een pickronde door middel van de afstandsmatrix. Indien aan order batching wordt gedaan zal een afstand van 30 meter bij elke pickronde worden toegevoegd. Deze waarde staat voor het ophalen van twee lege paletten en bedraagt de afstand tussen het depot en de opslaglocatie van lege paletten.

4.7 Resultaten

In Sectie 4.7.1 wordt een statistische analyse uitgevoerd van het experiment. Daarna worden in Sectie 4.7.2 de resultaten van de vier situaties gegeven. Deze resultaten zullen in Sectie 4.7.3 worden verklaard. Afgesloten wordt met Sectie 4.7.4, waarin een eventueel interactie-effect zal worden verklaard.

4.7.1 Statistische analyse

Teneinde de impact van de alternatieve voorraad-toewijzingsmethode en de implementatie van order batching te analyseren zal een algemene vergelijking worden gemaakt tussen de huidige en toekomstige situatie. Na het vergelijken van de situaties zal worden nagekeken of de resultaten van de situaties statistisch significant verschillend zijn door middel van een t-test voor gepaarde steekproeven. De reden waarom gekozen is voor deze specifieke t-test is omwille van de afhankelijkheid tussen de experimenten. Deze afhankelijkheid zal aan de hand van situatie 1 en 3 worden uitgelegd. Eén observatie zal bij beide situaties uit dezelfde opslaglocaties bestaan, maar ondanks deze gelijkheid zullen verschillende pickronden worden afgelegd. Door de gelijkheid in de te bezoeken opslaglocaties zal de af te leggen afstand bij beide situaties niet veel verschillen. Hierdoor kan gesteld worden dat beide situaties afhankelijk zijn van elkaar. Voordat een t-test voor gepaarde steekproeven mag uitgevoerd worden, moeten de voorwaarden hiervan worden nagekeken (De Vocht, 2014).

De voorwaarden van een t-test voor gepaarde steekproeven:

- Aselecte steekproeven;
- Normale steekproefverdelingen.

Indien niet aan order batching wordt gedaan is één observatie gelijk aan twee pickronden, of anders gezegd, twee paletnummers. Bij het toepassen van order batching zal één observatie gelijk zijn aan één pickronde, maar nog steeds twee paletnummers. Deze observatiegrootte is gekozen om de situatie zonder en met order batching te kunnen vergelijken. Bij elk experiment zullen 3.246 replicaties worden uitgevoerd. Het aantal replicaties is gelijk aan de picking activiteiten bij H. Essers gedurende een maand. Volgens De Vocht (2014) is een steekproefverdeling sowieso normaal verdeeld indien het aantal replicaties groter of gelijk is aan 30. Door het hoge aantal replicaties kan worden aangenomen dat de steekproeven normaal verdeeld zijn. De laatste voorwaarde bij het uitvoeren van een t-test voor gepaarde steekproeven is een aselechte steekproef. H. Essers heeft als doel om alle binnenkomende orders uit te voeren, waardoor gesteld kan worden dat elke pickronde dezelfde kans op uitvoering heeft. Een gelijke kans op uitvoering van alle replicaties is het kenmerk van een aselechte steekproef. Hierdoor kan geconcludeerd worden dat de vier steekproeven aselekt zijn en dat aan alle voorwaarden van een t-test voor gepaarde steekproeven is voldaan.

4.7.2 Bespreking resultaten

In Sectie 4.7.2.1 wordt de impact van de alternatieve voorraad-toewijzingsmethode besproken. Hierna wordt in Sectie 4.7.2.2 het effect van order batching geanalyseerd. In Sectie 4.7.2.3 wordt het effect van het toepassen van gezamenlijk order batching en de voorgestelde toewijzingsmethode onderzocht. Geëindigd wordt met Sectie 4.7.2.4, waarbij een eventueel interactie-effect wordt besproken.

In Tabel 7 worden de resultaten getoond voor de vier situaties. Deze resultaten zullen in de volgende secties worden geïnterpreteerd.

	Situatie 1	Situatie 2	Situatie 3	Situatie 4
Totale afstand	2.337.543 m	2.197.052 m (-6,01%)	1.768.372 m (-24,34%)	1.727.865 m (-26,08%)
Aantal pickronden	6.492	6.492	3.246	3.246
Gemiddeld aantal opslaglocaties per pickronde	4,54	4,54	7,88	7,88
Gemiddelde afstand per pickronde	360,05 m	338,42 m	544,78m	532,3 m

Tabel 7: De resultaten van de vier situaties

4.7.2.1 Impact van een nieuwe voorraad-toewijzingsmethode

Om de impact van de alternatieve voorraad-toewijzingsmethode te analyseren dient eerst een statistische test uitgevoerd te worden van het verschil in prestatie. De gebruikte test is een t-test voor gepaarde steekproeven. Met een t-test kan worden nagegaan of de resultaten van de twee situaties statistisch significant verschillend zijn. Eerst zal de beschrijvende statistiek worden gegeven en daarna de eigenlijke t-test. Tabel 8 toont de beschrijvende statistiek van de twee situaties. De tabel kan als volgt geïnterpreteerd worden: de gemiddelde af te leggen afstand per observatie is 718,92 meter voor situatie 1 en het aantal replicaties is 3.246. Het verschil in de gemiddelde af te leggen afstand bij de beschrijvende statistiek is een eerste indicatie op een statistisch significant verschil.

	Gemiddelde	Aantal replicaties	Standaard deviatie
Situatie 1	718,92	3.246	256,16
Situatie 2	676,84	3.246	275,56

Tabel 8: Beschrijvende statistiek bij situatie 1 en 2

De resultaten van de t-test zijn te vinden op Tabel 9. De nulhypothese bij de t-test luidt als volgt: de populatiegemiddelden van situatie 1 en 2 zijn gelijk aan elkaar. Of anders gezegd, de gemiddelde af te leggen afstand per observatie is gelijk bij situatie 1 en 2. De p-waarde van de t-test is 0,00. Hierdoor kan de nulhypothese verworpen worden en kan geconcludeerd worden dat de resultaten van de situaties met de huidige en alternatieve voorraad-toewijzingsmethode statistisch

significant verschillend zijn. Het verschil is gemiddeld 42,07 meter per observatie. Een mogelijke verklaring voor dit verschil is dat de producten met een hoog verkoopvolume dichtbij het depot geplaatst worden bij de alternatieve voorraad-toewijzingsmethode. Doordat de pickactiviteiten dichterbij het depot zullen plaatsvinden zal de af te leggen afstand logischerwijs dalen. Uit de tabel valt ook te interpreteren dat in 95% van de observaties een verschil zal plaatsvinden tussen 29,13 meter en 55,02 meter tussen de huidige en alternatieve voorraad-toewijzingsmethode.

	Verschillen				T-waarde	P-waarde
	Gemiddelde	Standaard deviatie	95% betrouwbaarheidsinterval			
			Ondergrens	bovengrens		
Situatie 1 & situatie 2	42,07	116,98	38,05	46,1	20,5	0,00

Tabel 9: T-test voor gepaarde steekproeven bij situatie 1 en 2

De verandering in praktijk zal besproken worden aan de hand van Tabel 7. Uit de tabel wordt duidelijk dat een procentuele besparing van 6,01% plaatsvindt in de totaal af te leggen afstand. In absolute cijfers betekent het op maandbasis een daling in de af te leggen afstand van 2.337.543 meter naar 2.197.052 meter. Het aantal pickronden blijft constant, aangezien niets verandert aan de opbouw van de orders. Doordat de af te leggen afstand daalt en het aantal pickronden constant blijft, zal de af te leggen afstand per pickronde dalen. De af te leggen afstand bedraagt 50% van de totale order picking tijd (Tompkins, White, Bozer, Frazelle, & Tanchoco, 2003). De andere factoren van het order picking proces worden als constanten genomen. Als gevolg van een besparing van 2% in de af te leggen afstand zal een vermindering waargenomen worden in de totale order picking tijd van 1%. De aangehaalde opmerking is ook van toepassing bij de impact van order batching en de gezamenlijke impact van order batching en de voorgestelde voorraad-toewijzingsmethode.

4.7.2.2 Impact van order batching

Om de impact van order batching te analyseren dient eerst een statistische test uitgevoerd te worden van het verschil in prestatie. De gebruikte test is een t-test voor gepaarde steekproeven. Met een t-test kan nagegaan worden of de resultaten van de twee situaties statistisch significant verschillend zijn. Eerst zal de beschrijvende statistiek worden gegeven en daarna de eigenlijke t-test. Tabel 10 toont de beschrijvende statistiek van de twee situaties. De tabel kan als volgt geïnterpreteerd worden; de gemiddelde af te leggen afstand per observatie is 544,78 meter voor situatie 3 en het aantal replicaties is 3.246. Het verschil in de gemiddelde af te leggen afstand bij de beschrijvende statistiek is een eerste indicatie op een statistisch significant verschil.

	Gemiddelde	Aantal replicaties	Standaard deviatie
Situatie 1	718,92	3.246	256,16
Situatie 3	544,78	3.246	200,17

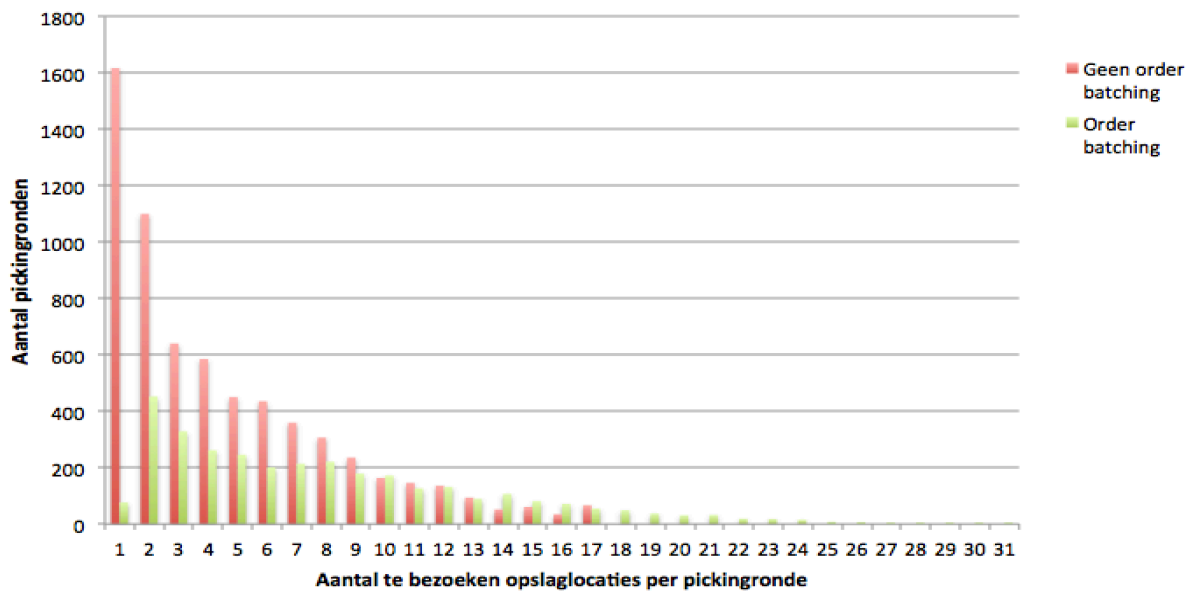
Tabel 10: Beschrijvende statistiek bij situatie 1 en 3

De resultaten van de t-test zijn te vinden op Tabel 11. De nulhypothese bij de t-test luidt als volgt: de populatiegemiddelden van situatie 1 en 3 zijn gelijk aan elkaar, of anders gezegd; de gemiddelde af te leggen afstand per observatie is gelijk bij situatie 1 en 3. De p-waarde van de t-test is 0,00. Hierdoor kan de nulhypothese verworpen worden en kan geconcludeerd worden dat de resultaten van de situaties met en zonder order batching statistisch significant verschillend zijn. Het verschil is gemiddeld 174,14 meter per observatie. Een mogelijke verklaring voor dit verschil is dat bij order batching het mogelijk is dat twee nabijzijnde opslaglocaties moeten bezocht worden in één trip, terwijl bij de situatie zonder order batching deze twee producten apart zouden moeten worden verzameld. Uit de tabel valt ook te interpreteren dat in 95% van de observaties een verschil zal plaatsvinden tussen 170,53 meter en 177,75 meter tussen de situatie met en zonder order batching.

	Verschillen				T-waarde	P-waarde
	Gemiddelde	Standaard deviatie	95% betrouwbaarheidsinterval			
			Ondergrens	bovengrens		
Situatie 1 & situatie 3	174,14	104,89	170,53	177,75	94,6	0,00

Tabel 11: T-test voor gepaarde steekproeven bij situatie 1 en 3

De verandering in praktijk zal besproken worden aan de hand van Tabel 7. Uit de tabel wordt duidelijk dat een besparing in absolute cijfers plaatsvindt in de af te leggen afstand van 2.337.543 meter naar 1.768.372 meter. De besparing is procentueel gezien een besparing van 24,34%. Het aantal pickronden daalt van 6491 naar 3246 pickronden. De daling doet zich voor doordat bij het principe van order batching de te bezoeken opslaglocaties van twee pickronden worden samengevoegd in één pickronde. De daling in het aantal pickronden heeft drie gevolgen. Een eerste gevolg is een stijging in de af te leggen afstand per pickronde. Een tweede gevolg is een stijging in het gemiddeld aantal opslaglocaties per pickronde. Een derde gevolg is dat de verdeling van het aantal pickronden over het aantal te bezoeken opslaglocaties per pickronde wijzigt. De wijziging is te zien op Figuur 25. Uit de figuur is op te maken dat bij de situatie zonder order batching de meerderheid van de pickronden tussen één en 12 opslaglocaties zal bezoeken, in tegenstelling tot de situatie met order batching, waarbij de meerderheid van de pickronden tussen twee en 14 opslaglocaties zal bezoeken.



Figuur 25: Verdeling van het aantal pickronden over het aantal te bezoeken opslaglocaties per pickronde

4.7.2.3 Impact van order batching & nieuwe voorraad-toewijzingsmethode

Om de impact van gezamenlijk order batching en de alternatieve voorraad-toewijzingsmethode te analyseren dient eerst een statistische test uitgevoerd te worden van het verschil in prestatie bij de situatie zonder order batching in combinatie met de huidige voorraad-toewijzingsmethode en de situatie met order batching in combinatie met de alternatieve voorraad-toewijzingsmethode. De gebruikte test is een t-test voor gepaarde steekproeven. Met een t-test kan nagegaan worden of de resultaten van de twee situaties statistisch significant verschillend zijn. Eerst zal de beschrijvende statistiek worden gegeven en daarna de eigenlijke t-test. Tabel 12 toont de beschrijvende statistiek van de twee situaties. De tabel kan als volgt geïnterpreteerd worden: de gemiddelde af te leggen afstand per observatie is 532,31 meter voor situatie 4 en het aantal replicaties is 3.246. Het verschil in de gemiddelde af te leggen afstand bij de beschrijvende statistiek is een eerste indicatie op een statistisch significant verschil.

	Gemiddelde	Aantal replicaties	Standaard deviatie
Situatie 1	718,92	3.246	256,16
Situatie 4	532,31	3.246	216,34

Tabel 12: Beschrijvende statistiek bij situatie 1 en 4

De resultaten van de t-test zijn te vinden op Tabel 13. De nulhypothese bij de t-test luidt als volgt: de populatiegemiddelden van situatie 1 en 3 zijn gelijk aan elkaar, of anders gezegd, de gemiddelde af te leggen afstand per observatie is gelijk bij situatie 1 en 4. De p-waarde van de t-test is 0,00. Hierdoor kan de nulhypothese verworpen worden en kan geconcludeerd worden dat de resultaten van de situatie zonder order batching in combinatie met de huidige voorraad-toewijzingsmethode statistisch significant verschillend is met de situatie met order batching en de alternatieve voorraad-toewijzingsmethode. Dit verschil is gemiddeld 186,62 meter per observatie.

Uit de tabel valt ook te interpreteren dat in 95% van de observaties een verschil zal plaatsvinden tussen 182,1 meter en 191,17 meter tussen de twee situaties.

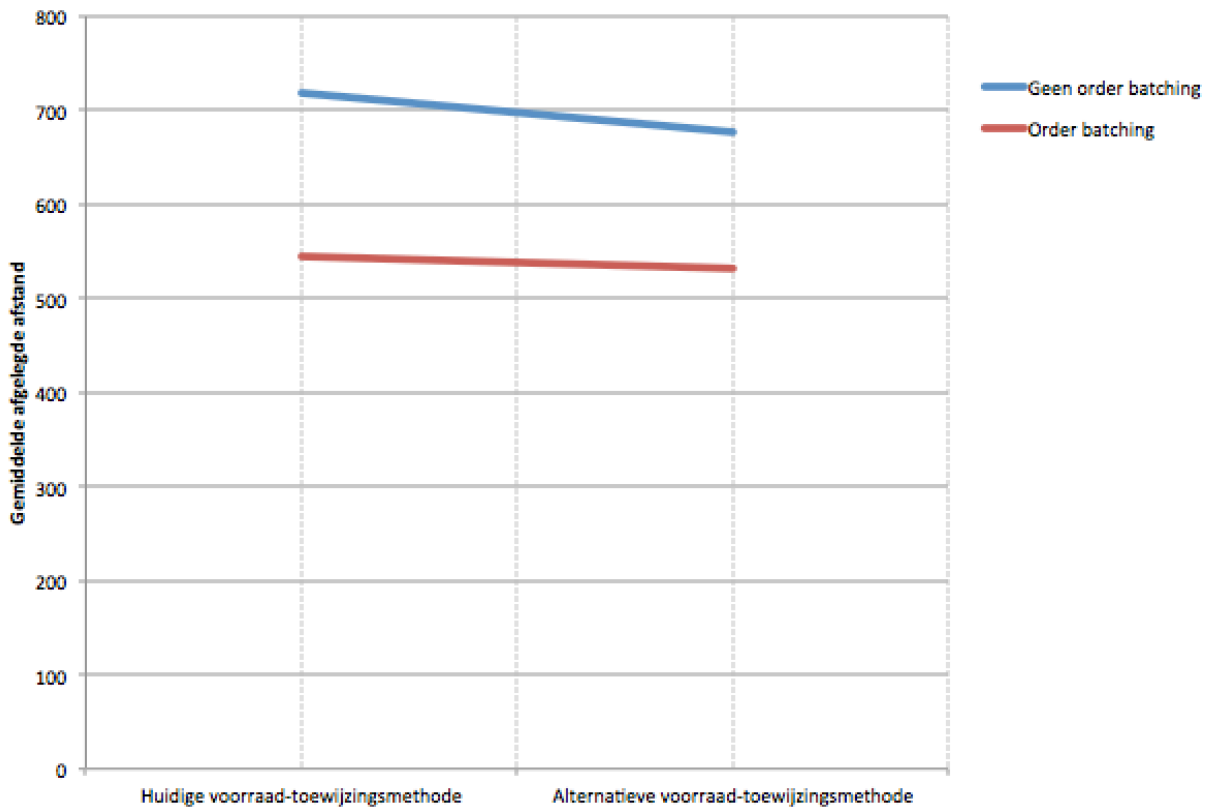
	Verschillen				T-waarde	P-waarde
	Gemiddelde	Standaard deviatie	95% betrouwbaarheidsinterval			
			Ondergrens	bovengrens		
Situatie 1 & situatie 4	186,62	132,2	182,1	191,17	80,43	0,00

Tabel 13: T-test voor gepaarde steekproeven bij situatie 1 en 4

De verandering in praktijk zal besproken worden aan de hand van Tabel 7. Uit de tabel wordt duidelijk dat een procentuele besparing van 26,08% plaatsvindt in de totaal af te leggen afstand. In absolute cijfers betekent het op maandbasis een daling in de af te leggen afstand van 2.337.543 meter naar 1.727.865 meter. Het aantal pickronden daalt van 6491 naar 3246 pickronden. De daling in het aantal pickronden kan verklaard worden door het implementeren van order batching. De daling in het aantal pickronden heeft twee gevolgen, die aangehaald zijn in de vorige sectie.

4.7.2.4 Interactie-effect tussen order batching en voorraad-toewijzingsmethoden

In de vorige sectie werd aangetoond dat een statistisch verschil plaatsvindt tussen de prestatie van situatie 1 en 4. In deze sectie is het van belang om na te gaan of het statistisch verschil wordt versterkt door middel van een interactie-effect tussen order batching en de alternatieve voorraad-toewijzingsmethode. Eerst zal het begrip interactie-effect worden uitgelegd. De individuele effecten van order batching en de alternatieve voorraad-toewijzingsmethode op de afhankelijke variabele worden hoofdeffecten genoemd. In het geval dat order batching en de alternatieve voorraad-toewijzingsmethode worden geïmplementeerd, zal het interactie-effect de extra stijging bedragen in de afhankelijke variabele wanneer rekening wordt gehouden met de hoofdeffecten. Het interactie-effect tussen order batching en de alternatieve voorraad-toewijzingsmethode zal geïnterpreteerd worden met behulp van Figuur 26. De figuur toont een interactieplot van de twee aanpassingen. De blauwe lijn toont de situatie zonder order batching en de rode lijn toont de situatie met order batching. Op de X-as is te zien welke voorraad-toewijzingsmethode wordt toegepast. De gebruikte prestatimaatstaf is de gemiddelde af te leggen afstand. Een interactieplot kan als volgt worden geïnterpreteerd: indien de twee lijnen parallel lopen is geen interactie-effect aanwezig. In het geval dat de lijnen naar elkaar toe bewegen kan gesproken worden van een positief interactie-effect. Op de figuur is te zien dat de rode en blauwe lijn naar elkaar toe bewegen, Hetgeen aantoont dat het effect van order batching wordt versterkt door middel van de voorgestelde voorraad-toewijzingsmethode. Een mogelijke verklaring is dat door het toepassen van order batching een efficiëntere pickroute kan worden opgesteld. De voorgestelde voorraad-toewijzingsmethode versterkt dit effect, aangezien het ervoor zorgt dat relatief meer opslaglocaties dichtbij het depot zullen bezocht worden. Hierdoor kan een nog efficiëntere pickroute worden opgesteld.



Figuur 26: Illustratie van interactie-effect

4.8 Kritische bemerkingen

Aan het implementeren van order batching en een alternatieve voorraadtoewijzingsmethode zullen eventuele uitdagingen verbonden zijn. De mogelijke uitdagingen en eventuele oplossingen hiervan zullen hieronder worden weergegeven.

4.8.1 Lege paletten

Indien alle producten bij een opslaglocatie zijn weggehaald door orderpickers zal een leeg palet overblijven. Lege paletten zorgen voor wanorde in het magazijn, terwijl orde in het magazijn gewenst is door de klant. Deze eis van de klant komt doordat orde en netheid tekenen zijn dat hun goederen met respect worden behandeld. In de huidige situatie zal, indien de orderpicker voldoende lege plaatsen voorhanden heeft op zijn picking-voertuig, lege paletten plaatsen op het picking-voertuig op de plaats hiervoor gereserveerd. Op het einde van de werkshift zullen een aantal arbeiders de resterende lege paletten in het magazijn moeten verzamelen. Doordat gedurende de shift al lege paletten werden verzameld neemt de taak niet zo veel arbeidstijd in beslag. Door het implementeren van order batching zullen orderpickers geen plaats overhebben op het picking-voertuig om alle lege paletten te verzamelen. Hierdoor zullen gedurende de shift het aantal lege paletten in het magazijn stijgen. Als gevolg zal de wanorde in het magazijn toenemen en zal op het einde van de shift een groter aantal lege paletten moeten verzameld worden, en tenslotte zal de arbeidsduur van de taak stijgen. De besparing in arbeidstijd door het toepassen van order batching is 2,28 uur per dag. De berekening hiervan is te vinden in Bijlage 4. Er kan

geconcludeerd worden dat de extra arbeid voor het verzamelen van lege paletten maximaal 2,28 uur per dag mag bedragen, zodat order batching nog voordelig zou zijn. Een mogelijke oplossing voor het wanordeprobleem komt samen met een oplossing voor de volgende sectie. Bij de oplossing van de sectie zullen een aantal orderpickers producten blijven verzamelen op de manier zonder order batching. Orderpickers werkenden met de huidige methode zouden tussentijds de lege paletten moeten verzamelen.

4.8.2 Stapelproblemen

Stapelproblemen doen zich voor wanneer orderpickers een order moeten verzamelen met een groot aantal producten. Bij een order met een groot aantal producten zullen de producten soms verplaatst moeten worden omwille van een efficiënter volumegebruik. Bij het verplaatsen van de producten zullen orderpickers de producten tijdelijk ergens moeten plaatsen. De producten mogen niet op de grond worden geplaatst vanwege veiligheidsmaatregelen en schade aan het product. In het geval dat de orderpicker geen ruimte heeft voor het tijdelijk plaatsen van de producten kan gesproken worden van een stapelprobleem. Bij de huidige situatie wordt één plaats op het pickingvoertuig voorbehouden om alle verzamelde producten te stapelen en blijft één plaats ongebruikt. In het geval dat een groot aantal producten moet verplaatst worden, zal de ongebruikte plaats benut worden voor het tijdelijk plaatsen van de producten. Bij de situatie met order batching zal de ongebruikte plaats verdwijnen, waardoor moeilijkheden kunnen voorkomen bij het herstapelen van de producten. Een mogelijke oplossing voor het stapelprobleem is het instellen van een drempelwaarde van het aantal producten waarbij aan order batching zal gedaan worden. De werkwijze gaat als volgt: bij het opstellen van de pickronden van een shift zullen alle orders worden opgedeeld in twee categorieën op basis van een gedefinieerd aantal producten. Het definiëren van een drempelwaarde zal via een trial and error-procedure moeten gebeuren. Order batching zal toegepast worden op de categorie van orders met een laag aantal producten. Voor de categorie van orders met een hoog aantal producten zal de huidige methode van order picking gebruikt worden. Hierdoor kunnen eventuele stapelproblemen worden vermeden, aangezien dan orders bestaande uit een groot aantal producten voldoende plaats ter beschikking zullen hebben voor het herstapelen van de producten. Een bijkomend voordeel is dat de groep orderpickers met de taak om producten te verzamelen op de huidige werkwijze, de bijkomende taak kunnen toegewezen krijgen om lege paletten te verzamelen.

4.8.3 Congestie

Congestie in een magazijn kan voorkomen als meerdere orderpickers actief moeten zijn in dezelfde pickgang. Een gevolg van congestie zijn vertragingen in het order picking proces. Hierdoor moet rekening worden gehouden met de mogelijke problematiek van congestie. Mogelijke oorzaken van congestie zijn smalle pickgangen of een niet optimale voorraad-toewijzingsmethode, waardoor de pickingactiviteiten geconcentreerd zijn in een aantal pickgangen. Bij het magazijn van H. Essers zijn brede pickgangen aanwezig; het is hierdoor mogelijk dat orderpickers elkaar kruisen. Zo zal de breedte van de pickgangen het risico op congestie verminderen. Ook zal het toepassen van de alternatieve voorraad-toewijzingsmethode het risico op congestie verlagen. De reden hiervoor is dat bij de huidige voorraad-toewijzingsmethode de klasse A-producten in maar één pickgang aanwezig zijn, in tegenstelling tot de alternatieve voorraad-toewijzingsmethode waarin de klasse

A-producten verdeeld zijn over een groot aantal pickgangen. Ook order batching heeft een effect op het risico van congestie in een magazijn. Order batching veroorzaakt geen congestie, maar kan wel het niveau van congestie verhogen indien al congestie aanwezig is. De verhoging in het niveau van congestie komt doordat orderpickers meer producten moeten verzamelen. Het verzamelen van meer producten resulteert in het verzamelen van meer klasse A-producten, waardoor orderpickers nog langer actief zullen zijn in de pickgangen met een hoge populatie aan orderpickers. Het is hierdoor van belang voor H. Essers dat een optimale voorraad-toewijzingsmethode wordt geïmplementeerd.

4.8.4 Verhoging in picking fouten

Door het toepassen van order batching zal de taakhoud van een orderpicker licht veranderen. Zo moet de orderpicker het verzamelde product op het juiste palet plaatsen, terwijl de keuze niet voorkomt bij de huidige situatie. Het plaatsen van producten op het juiste palet zorgt voor een bijkomende mogelijkheid aan fouten. Het voorkomen van fouten moet geminimaliseerd worden aangezien de klant van H. Essers een betrouwbaarheid van 99,5% verwacht. Een mogelijke manier om de kans op fouten weg te werken is het plaatsen van unieke barcodes op de twee paletten. Voordat een product wordt geplaatst op een palet zal eerst het juiste palet moeten worden gescand. De huidige veiligheidsmaatregel moet normaal ook de mogelijkheid tot fouten minimaliseren.

4.8.5 Aanpassingstijd voor de arbeiders

Het toepassen van een nieuwe voorraad-toewijzingsmethode heeft normaliter geen invloed op werksituatie van de arbeiders. Het toepassen van order batching daarentegen, zorgt voor een grondige verschuiving in de taken van een arbeider. Hierdoor wordt voorgesteld om alle arbeiders een grondige infosessie aan te bieden over het principe van order batching. Daarbij komend dient een implementatiefase te worden toegepast. Een implementatiefase houdt in dat gedurende een periode een arbeider alle verzamelde orders extra nakijkt op eventuele fouten. Na verloop van tijd zouden geen fouten meer mogen voorkomen en kan de extra controle worden teruggetrokken.

4.9 Conclusie

De empirische studie bevestigt de bevindingen uit het theoretisch gedeelte van de masterproef, namelijk dat order batching en op klasse-gebaseerde toewijzing een significante vermindering in de af te leggen afstand teweegbrengen. Voor H. Essers kan de grootste besparing in de totale af te leggen afstand behaald worden door middel van het toepassen van order batching. Bij de grootte van besparing moet wel een kanttekening gemaakt worden, aangezien geen rekening wordt gehouden met de eventuele extra arbeidstijd voor het verzamelen van de lege paletten. Deze extra arbeidstijd mag maximum 2,28 uur per dag bedragen zodat het implementeren van order batching nog voordelig is. Een tweede bemerking is het verhoogd risico op picking fouten bij het implementeren van order batching. Aangezien betrouwbaarheid zeer belangrijk is voor het bedrijf en de klant, zal het verhoogd risico op picking fouten moeten worden weggewerkt door het al dan niet toepassen van extra veiligheidsmaatregelen. Indien alle bemerkingen zouden worden opgelost, heeft het implementeren order batching een meerwaarde voor H. Essers. Deze meerwaarde bedraagt ongeveer 20.520€ per jaar. Omdat volgens de literatuur de gekozen order batching methode niet het best presterende algoritme is, lijkt het logisch dat het bedrijf nog betere resultaten kan behalen door het toepassen van een andere order batching algoritme. Niet alleen order batching bleek voordelig te zijn, maar ook de voorgestelde voorraad-toewijzingsmethode vermindert significant de af te leggen afstand. In het geval dat order batching en de nieuwe op voorraad-toewijzingsmethode worden toegepast, zullen de individuele effecten van beide aanpassingen versterkt worden door een interactie-effect. Het is dus zeker gunstig om de alternatieve voorraad-toewijzingsmethode te implementeren indien geen grote kosten ermee gepaard gaan. Het toepassen van een nieuwe voorraad-toewijzingsmethode heeft niet alleen een gunstige invloed op de af te leggen afstand, maar ook op het congestieniveau. Zo wordt vermoed dat het risico op congestie zal verminderen door de pickactiviteiten meer te spreiden over de verschillende pickgangen. De berekende besparing per jaar voor H. Essers bedraagt 22.010€ per jaar, door het gezamenlijk toepassen van order batching en de voorgestelde voorraad-toewijzingsmethode. Geconcludeerd kan worden dat door de tijdsvermindering in het order picking proces een optimalisatie in het werkbestand kan plaatsvinden. Een optimalisatie van het werkbestand houdt in dat minder arbeiders actief zullen zijn in het order picking proces. De vrijkomende arbeiders kunnen eventueel geherlocaliseerd worden in taken omtrent het beperken van fouten of wanorde. Het beperken van fouten kan gebeuren door een aantal arbeiders in te zetten bij een extra controle voordat het verzamelde order wordt verwerkt. Het beperken van wanorde kan gebeuren door een aantal arbeiders in de tussentijd lege paletten te laten verzamelen. Aan het uitvoeren van een nieuwe voorraad-toewijzingsmethode en het implementeren van order batching zijn een aantal uitdagingen verbonden. Zo moet het bedrijf H. Essers zijn pickingproces aanpassen, zoals het invoeren van bijkomende veiligheidsmaatregelen of nieuwe pickprocedures. Ook zal initieel een herlocalisatie van de producten in het magazijn moeten plaatsvinden.

5. Algemeen besluit

5.1 Conclusie

In de materproef werd aangetoond dat een optimaal logistiek beheer cruciaal is voor de competitiviteit van een bedrijf. De optimalisatie van het order picking proces is een middel om de efficiëntie van de supply chain te verhogen. Volgens het onderzoek van Tompkins (2003) omvatten de kosten van orderpicken tot vijftig procent van de totale kosten in het magazijnbeheer. Het grootste deel van de picking activiteit bestaat uit het voortbewegen van de orderpicker van één opslaglocatie naar een andere opslaglocatie, in andere woorden; de reistijd omslaat het grootste gedeelte van het order picking proces. Aangezien de reistijd geen waarde toevoegt voor de klant, zal getracht worden de reistijd te minimaliseren om zo een daling in de operationele kosten te verwezenlijken.

Omwille van het economisch belang zijn twee operationele beslissingen onderzocht gerelateerd aan orderpicken, namelijk het batchen van orders en voorraad-toewijzingsmethoden. In deze masterproef is onderzocht of order batching in combinatie met een specifieke voorraad-toewijzingsmethode de reistijd van orderpickers significant vermindert.

Eerst werd het batchen van orders bestudeerd; het probleem kan omschreven worden als een variant op het Vehicle Routing Problem. Het doel bij order batching is om gelijkaardige of nabije orders te verzamelen. Aangezien orders bestaan uit verschillende producten en elk product een specifieke opslaglocatie heeft, is het moeilijk om de opslaglocatie van een order vast te stellen. In de literatuur werden drie verschillende methoden van order batching aangehaald, namelijk exacte algoritmen, heuristieken en metaheuristieken. De meeste aandacht in de studie ging naar heuristieken. Exacte oplossingsmethoden zijn ontwikkeld voor problemen met een klein aantal orders. In het geval dat problemen met een groot aantal orders dienen onderzocht te worden, wordt het gebruik van exacte oplossingsmethoden te complex. Hierdoor is besloten om in het empirisch gedeelte van de masterproef de effecten van exacte oplossingsmethoden niet te onderzoeken. Voor meer realistische situaties stellen onderzoekers voor om met heuristieken te werken. In het empirisch gedeelte van de masterproef werd het effect van algoritmen gebaseerd op prioriteiten onderzocht; de prioriteiten worden toegekend op First-Come-First-Served basis. De redenen hiervoor zijn het gebruiksgemak van het algoritme en de chronologische uitvoering van binnenkomende orders bij H. Essers. De literatuur haalt ook veel verschillende metaheuristieken aan. Het algoritme van een metaheuristiek is complex en hierdoor is besloten om de effecten van metaheuristieken niet te onderzoeken. Uit de empirische studie is gebleken dat een grote besparing in de totale af te leggen afstand kan gerealiseerd worden door middel van het toepassen van order batching. Bij de besparing moet wel een kanttekening gemaakt worden, aangezien geen rekening wordt gehouden met de eventuele extra arbeidstijd voor het verzamelen van de lege paletten. Tijdens het implementeren van order batching zullen bijkomende maatregelen moeten plaatsvinden om de betrouwbaarheid te kunnen garanderen. Indien de betrouwbaarheid kan

gegarandeerd worden is het implementeren van order batching aangeraden, zeker omdat de gekozen order batching methode niet het best presterende algoritme is.

Het tweede deel van de masterproef heeft gefocust op de verschillende voorraad-toewijzingsmethoden. Eerst werden in de literatuurstudie de verschillende voorraad-toewijzingsmethoden onderzocht en daarna werd in het empirisch luik van de masterproef gefocust op klasse-gebaseerde opslag. De reden hiervoor is dat het bedrijf H. Essers graag een aangepaste toepassing van op klasse-gebaseerde opslag wil onderzoeken. In de huidige en alternatieve voorraad-toewijzingsmethode wordt het magazijn opgesplitst in drie gebied, namelijk base, zure en ontvlabbare producten. Een verschil tussen de huidige en alternatieve voorraad-toewijzingsmethode doet zich voor door verschillende manieren van op klasse-gebaseerde opslag toe te passen. Bij de huidige en alternatieve voorraad-toewijzingsmethode wordt gebruik gemaakt van twee klassen. Bij de twee klassen wordt gevarieerd in twee factoren: de klassenverdeling en de plaatsing van de klassen in het magazijn. Door te variëren in de twee factoren wordt getracht een optimale voorraad-toewijzing te bekomen zonder veel kostelijke of complexe wijzingen te moeten doorvoeren aan de huidige situatie. Uit de empirische studie is gebleken dat de alternatieve voorraad-toewijzingsmethode een significante vermindering in de af te leggen afstand realiseert. In het geval dat gelijktijdig order batching en de nieuwe voorraad-toewijzingsmethode worden toegepast, zullen de individuele effecten van beide aanpassingen versterkt worden door een interactie-effect. Het is dus zeker gunstig om de alternatieve voorraad-toewijzingsmethode te implementeren indien geen grote kosten ermee gepaard gaan.

5.2 Beperkingen van het onderzoek

Een beperking was de moeilijkheid om verschillende artikels met elkaar te vergelijken. Een reden hiervoor is het verschil in omstandigheden waarin de algoritmen worden gesimuleerd. Zo kan gevarieerd worden in het routeringsalgoritme, lay-out van het magazijn, de samenstelling van de orderlijst en de capaciteit van het picking-voertuig. Ook zijn de resultaten van het empirisch onderzoek niet veralgemeenbaar voor andere magazijnen of orderlijsten. Het onderzoek is geconcentreerd op specifiek één situatie, namelijk de situatie van het bedrijf H. Essers. De situatie bij het bedrijf is te verschillend met de literatuur omwille van het verschil in magazijn lay-out. Zo bestaat het magazijn van H. Essers uit meerdere blokken, terwijl de magazijn lay-out in de literatuur uitgaat van één blok. Bij het onderzoeken van het effect van order batching werd geen rekening gehouden met het ophalen van lege paletten op het einde van de werkshift. De reden is dat hierover geen gegevens beschikbaar zijn. Een bijkomende beperking van het onderzoek is dat maar één order batching algoritme is onderzocht. Het zou mogelijk zijn dat betere resultaten kunnen behaald worden met een ander, meer complex algoritme.

5.3 Richtlijnen voor verder onderzoek

Om in de toekomst de resultaten van het experiment te kunnen veralgemenen zouden de effecten van het implementeren van order batching en voorraad-toewijzingsmethoden moeten worden onderzocht bij verschillende magazijn- en orderlijstconfiguraties. Ook kan in toekomstig onderzoek rekening worden gehouden met verschillende routeringsmethoden. Zo is het mogelijk dat het variëren in de routeringsmethode een bijkomend gunstig effect heeft op de af te leggen afstand. Een aanvullende opportuniteit voor verder onderzoek is het onderzoeken van verschillende order batching algoritmen, waardoor een vergelijking kan worden gedaan. Uit de theorie is gebleken dat besparing en seed algoritmen goed presteren in verschillende situaties. Hierdoor is het onderzoeken van bovenstaande algoritmen zeker de moeite waard. Ook is uit de theorie is gebleken dat metaheuristieken veelbelovend presteren. Een laatste opportuniteit voor verder onderzoek is het congestieniveau in magazijnen. In deze masterproef is de impact van het fenomeen relatief weinig onderzocht, terwijl een hoog congestieniveau een grote invloed kan hebben op het order picking proces.

Lijst van referenties

- Albareda-Sambola, M., Alonso-Ayuso, A., Molina, E., & De Blas, C. S. (2009). Variable neighborhood search for order batching in a warehouse. *Asia-Pacific Journal of Operational Research*, 26(05), 655-683.
- Aminoff, A., Kettunen, O., & Pajunen-Muhonen, H. (2002). Research on factors affecting warehousing efficiency. *International Journal of Logistics*, 5(1), 45-57.
- Bozer, Y. A., & Kile, J. W. (2008). Order batching in walk-and-pick order picking systems. *International Journal of Production Research*, 46(7), 1887-1909.
- Bullnheimer, B., Hartl, R. F., & Strauss, C. (1999). An improved ant System algorithm for the vehicle Routing Problem. *Annals of operations research*, 89, 319-328.
- Caron, F., Marchet, G., & Perego, A. (1998). Routing policies and COI-based storage policies in picker-to-part systems. *International Journal of Production Research*, 36(3), 713-732.
- Chen, M. C., Huang, C. L., Chen, K. Y., & Wu, H. P. (2005). Aggregation of orders in distribution centers using data mining. *Expert Systems with Applications*, 28(3), 453-460.
- Chen, M. C., & Wu, H. P. (2005). An association-based clustering approach to order batching considering customer demand patterns. *Omega*, 33(4), 333-343.
- Dekker, R., De Koster, M. B. M., Roodbergen, K. J., & Van Kalleveen, H. (2004). Improving order-picking response time at Ankor's warehouse. *Interfaces*, 34(4), 303-313.
- De Koster, R., Le-Duc, T., & Roodbergen, K. J. (2007). Design and control of warehouse order picking: A literature review. *European Journal of Operational Research*, 182(2), 481-501.
- De Koster, M. B. M., Van der Poort, E. S., & Wolters, M. (1999). Efficient orderbatching methods in warehouses. *International Journal of Production Research*, 37(7), 1479-1504.
- De Koster, R., & van Der Poort, E. (1998). Routing orderpickers in a warehouse: a comparison between optimal and heuristic solutions. *IIE Transactions*, 30(5), 469-480.
- De Koster, R., Roodbergen, K. J., & Van Voorden, R. (1999). Reduction of walking time in the distribution center of De Bijenkorf. In *New trends in distribution logistics* (pp. 215-234). Springer Berlin Heidelberg.
- De Vocht, A. (2014). *Basishandboek SPSS22: IBM SPSS Statistics 22*. Utrecht: Bijleveld.
- Dendooven, P. (2016, 19 januari). Belgische e-commerce groeit met een kwart. *De Standaard*. Opgevraagd op 17 april, 2016, via academic.gopress.com
- Elsayed, E. A. (1981). Algorithms for optimal material handling in automatic warehousing systems. *International Journal Of Production Research*, 19(5), 252.
- Elsayed, E. A., & Unal, O. I. (1989). Order batching algorithms and travel-time estimation for automated storage/retrieval systems. *The International Journal of Production Research*, 27(7), 1097-1114.
- Frazele, E. A., & Sharp, G. P. (1989). Correlated assignment strategy can improve any order-picking operation. *Industrial Engineering*, 21(4), 33-37.
- Gademann, A. J. R. M., Van Den Berg, J. P., & Van Der Hoff, H. H. (2001). An order batching algorithm for wave picking in a parallel-aisle warehouse. *IIE transactions*, 33(5), 385-398.
- Gademann, N., & Van De Velde, S. (2005). Order batching to minimize total travel time in a parallel-aisle warehouse. *IIE Transactions*, 37(1), 63-75.
- Gibson, D. R., & Sharp, G. P. (1992). Order batching procedures. *European Journal of Operational Research*, 58(1), 57-67.

- Glover, F. (1986). Future paths for integer programming and links to artificial intelligence. *Computers & operations research*, 13(5), 533-549.
- Graves, S. C., Hausman, W. H., & Schwarz, L. B. (1977). Storage-retrieval interleaving in automatic warehousing systems. *Management Science*, 23(9), 935-945.
- Gray, A. E., Karmarkar, U. S., & Seidmann, A. (1992). Design and operation of an order-consolidation warehouse: Models and application. *European Journal of Operational Research*, 58(1), 14-36.
- Grit, R., & de Geus, J. (2006). *Management en logistiek*. Wolters-Noordhoff.
- Hausman, W. H., Schwarz, L. B., & Graves, S. C. (1976). Optimal storage assignment in automatic warehousing systems. *Management science*, 22(6), 629-638.
- Henn, S., Koch, S., Doerner, K. F., Strauss, C., & Wäscher, G. (2010). Metaheuristics for the Order Batching Problem in Manual Order Picking Systems. *Business Research*, 3(1), 81-104.
- Henn, S., Koch, S., & Wäscher, G. (2012). *Order batching in order picking warehouses: a survey of solution approaches* (pp. 105-137). Springer London.
- Henn, S., & Wäscher, G. (2012). Tabu search heuristics for the order batching problem in manual order picking systems. *European Journal Of Operational Research*, 222(3), 484-494.
- Ho, Y., Su, T., & Shi, Z. (2008). Order-batching methods for an order-picking warehouse with two cross aisles. *Computers & Industrial Engineering*, 55(2), 321-347.
- Ho, Y. C., & Tseng, Y. Y. (2006). A study on order-batching methods of order-picking in a distribution centre with two cross-aisles. *International Journal of Production Research*, 44(17), 3391-3417.
- Hwang, H., & Kim, D. G. (2005). Order-batching heuristics based on cluster analysis in a low-level picker-to-part warehousing system. *International Journal of Production Research*, 43(17), 3657-3670.
- Jacobs, F.R., & Chase, R.B. (2014). *Operations and Supply Chain Management 14th Global Edition*. Maidenhead Berkshire: McGraw-Hill Education.
- Le-Duc, T., & De Koster, R. M. B. (2005). Travel distance estimation and storage zone optimization in a 2-block class-based storage strategy warehouse. *International Journal of Production Research*, 43(17), 3561-3581.
- Lysgaard, J. (1997). Clarke & Wright's Savings Algorithm. *Department of Management Science and Logistics, The Aarhus School of Business*, 44.
- Mu-Chen, C., & Hsiao-Pin, W. (2005). An association-based clustering approach to order batching considering customer demand patterns. *Omega*, 33(4), 333-343.
- Our businesses Geraadpleegd op 5 april 2016. via <http://www.ecolab.com/about/our-businesses>
- Pan, J. C., Shih, P., & Wu, M. (2015). Order batching in a pick-and-pass warehousing system with group genetic algorithm. *Omega*, 57, 238-248.
- Petersen, C. G., & Aase, G. (2004). A comparison of picking, storage, and routing policies in manual order picking. *International Journal of Production Economics*, 92(1), 11-19.
- Petersen II, C. G., & Schmenner, R. W. (1999). An Evaluation of Routing and Volume-based Storage Policies in an Order Picking Operation. *Decision Sciences*, 30(2), 481-501.
- Rao, S. S., & Adil, G. K. (2013). Class-based storage with exact S-shaped traversal routing in low-level picker-to-part systems. *International Journal of Production Research*, 51(16), 4979-4996.

- Ratliff, H. D., & Rosenthal, A. S. (1983). Order-picking in a rectangular warehouse: a solvable case of the traveling salesman problem. *Operations Research*, 31(3), 507-521.
- Riedel, R. (2011). Facilities planning – 4th edition by J.A. Tompkins, J.A. White, Y.A. Bozer and J.M.A. Tanchoco. *International Journal Of Production Research*, 49(24), 7519-7520.
- Rosenwein, M. B. (1996). A comparison of heuristics for the problem of batching orders for warehouse selection. *International Journal of Production Research*, 34(3), 657-664.
- Ruben, R. A., & Jacobs, F. R. (1999). Batch construction heuristics and storage assignment strategies for walk/ride and pick systems. *Management Science*, 45(4), 575-596.
- Teunter, R. H., Babai, M. Z., & Syntetos, A. A. (2010). ABC classification: service levels and inventory costs. *Production and Operations Management*, 19(3), 343-352.
- Thomas, D. J., & Griffin, P. M. (1996). Coordinated supply chain management. *European journal of operational research*, 94(1), 1-15.
- Tien Bulgaren voor één Belg. (2016, March 31). *De standaard*. Opgevraagd op 3 mei, 2016, via academic.gopress.com
- Tompkins, J. A., White, J. A., Bozer, Y. A., & Tanchoco, J. M. A. (2010). *Facilities planning*. John Wiley & Sons.
- Waters, D. (2003). *Logistics: an introduction to supply chain management*.
- Wäscher, G. (2004). *Order picking: a survey of planning problems and methods* (pp. 323-347). Springer Berlin Heidelberg
- Whittle, I. M., & Smith, G. D. (2004). The attribute based hill climber. *Journal of Mathematical Modelling and Algorithms*, 3(2), 167-178.
- Won, J., & Olafsson, S. (2005). Joint order batching and order picking in warehouse operations. *International Journal of Production Research*, 43(7), 1427-1442.
- Yu, Y., Koster, R., & Guo, X. (2015). Class-Based Storage with a Finite Number of Items: Using More Classes is not Always Better. *Production and Operations Management*, 24(8), 1235-1247.

Lijst van figuren

- Figuur 1: De kosten van magazijnbeheer opgesplitst naar activiteit (Tompkins et al., 2003)
- Figuur 2: Tijdsverdeling aangaande order picking (Tompkins et al., 2003)
- Figuur 3: Classificatie van de systemen van order picking (De Koster, 2004)
- Figuur 4: Varianten van verkoopvolume gebaseerde opslag (Petersen & Schmenner, 1999)
- Figuur 5: S-shape strategie (de Koster, Roodbergen, & van Voorden, 1999)
- Figuur 6: Flowchart van seed algoritmen (Ho & Tseng, 2006)
- Figuur 7: Illustratie kleinste rechthoekig-bedekkende gebied (Ho et al., 2008)
- Figuur 8: Een illustratie van de verschillende meetmethoden voor afstand (Ho et al., 2008)
- Figuur 9: Een illustratie van het overlappend oppervlak (Ho et al., 2008)
- Figuur 10: Het additionele overlappend oppervlakte (Ho et al., 2008)
- Figuur 11: Het principe van besparingsalgoritmen (Lysgaard, 1997)
- Figuur 12: Illustratie van metaheuristieken (Hillier & Lieberman, 2015)
- Figuur 13: Reistijd volgens twee visies (Yu, Koster & Guo, 2015)
- Figuur 14: Het effect van de verdeling van de vraag op de gemiddelde tourlengte (Petersen & Aase, 2004)
- Figuur 15: Het verschil tussen Within-Aisle en Across-Aisle opslag (Tompkins et al., 2010)
- Figuur 16: Varianten van op verkoopvolume gebaseerde opslag (Petersen & Schmenner, 1999)
- Figuur 17: Het effect van het aantal klassen en ordergroottes (Petersen & Aase, 2004)
- Figuur 18: Het verschil in prestatie tussen op klasse gebaseerde opslag met op verkoopvolume gebaseerde opslag (Petersen & Aase, 2004)
- Figuur 19: Illustratie van interactie-effect
- Figuur 20: Verdeling van producten over opslaglocaties
- Figuur 21: illustratie van het combined routeringsalgoritme
- Figuur 22: Illustratie van de itemmaster
- Figuur 23: Illustratie van de orderlijst
- Figuur 24: Illustratie van de stocklijst

Figuur 25: Verdeling van het aantal pickronden over het aantal te bezoeken opslaglocaties per pickronde

Figuur 26: Illustratie van interactie-effect

Figuur 27: Illustratie van de gebruikte terminologie

Figuur 28: Lay-out van het magazijn bij de huidige voorraad-toewijzingsmethode

Figuur 29: Lay-out van het magazijn bij de toekomstige voorraad-toewijzingsmethode

Lijst van tabellen

Tabel 1: Vergelijking van seed en besparingsalgoritmen (Koster, Van der Poort & Wolters, 1999)

Tabel 2: Vergelijking van de verschillende methoden van plaatsing van klassen (Petersen & Schmenner, 2000)

Tabel 3: Het effect van de ordergrootte (Petersen & Schmenner, 2000)

Tabel 4: Het effect van scheefheid van de vraag (Petersen & Schmenner, 2000)

Tabel 5: Cijfers over het bestand orderlijst

Tabel 6: Experimenteel onderzoek

Tabel 7: De resultaten van de vier situaties

Tabel 8: Beschrijvende statistiek bij situatie 1 en 2

Tabel 9: T-test voor gepaarde steekproeven bij situatie 1 en 2

Tabel 10: Beschrijvende statistiek bij situatie 1 en 3

Tabel 11: Tabel 11: T-test voor gepaarde steekproeven bij situatie 1 en 3

Tabel 12: Beschrijvende statistiek bij situatie 1 en 4

Tabel 13: T-test voor gepaarde steekproeven bij situatie 1 en 4

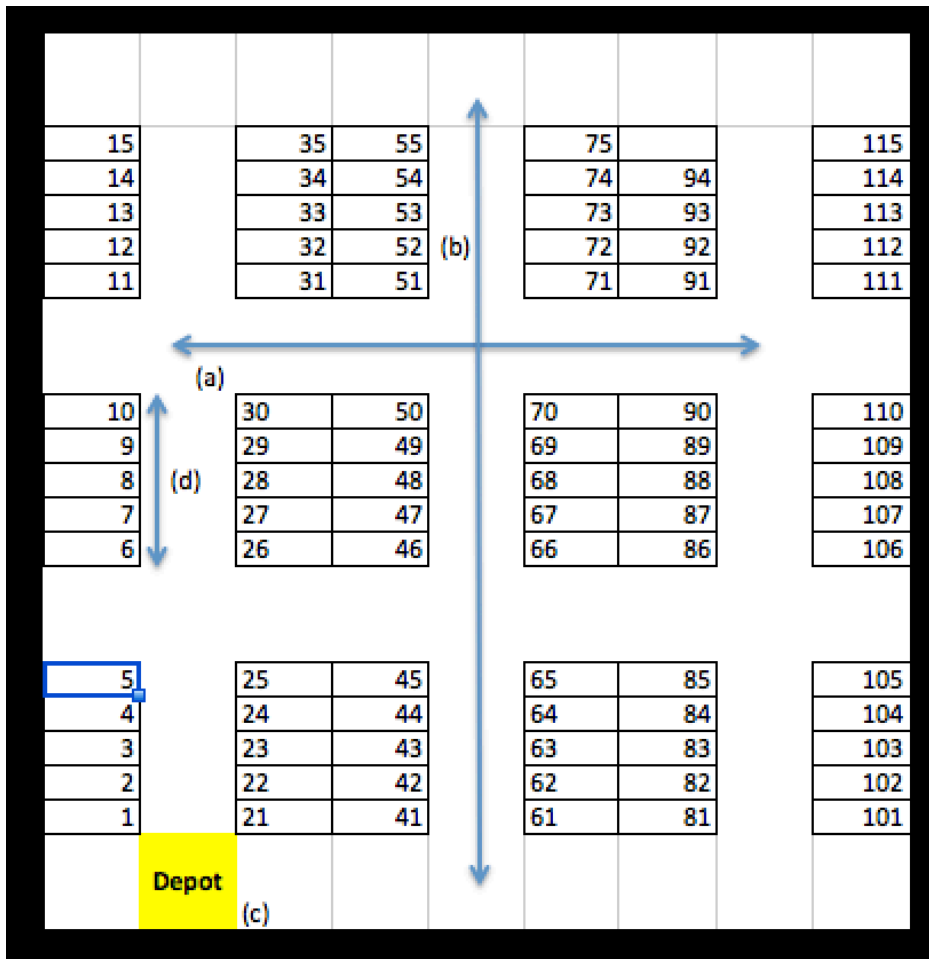
Tabel 14: Berekening van besparingen

Bijlagen

Bijlage 1: Gebruikte terminologie van een magazijn

De bijlage dient ter illustratie van de terminologie gebruikt bij deze masterproef.

Onderstaand magazijn bestaat uit drie blokken, vier dwarsgangen, drie pickgangen en opslaglocaties.



Figuur 27: Illustratie van de gebruikte terminologie

(a)= dwarsgang

(b)= pickgang

(c)= depot

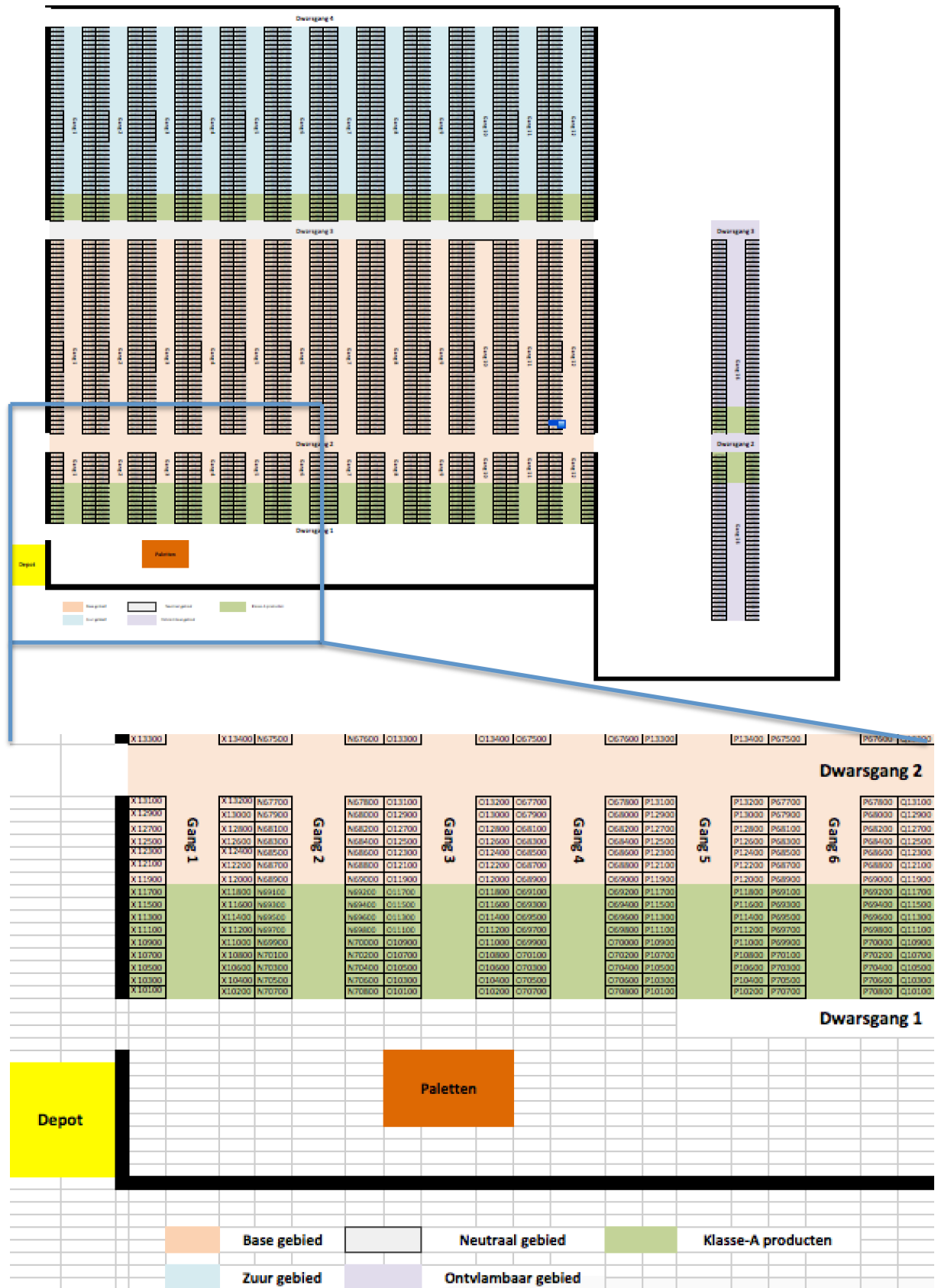
(d)= een blok is een ruimte in het magazijn dat begrensd is door twee opeenvolgende dwarsgangen

Bijlage 2: Lay-out van het magazijn bij de huidige voorraad-toewijzingsmethode



Figuur 28: Lay-out van het magazijn bij de huidige voorraad-toewijzingsmethode

Bijlage 3: Lay-out van het magazijn bij de toekomstige voorraad-toewijzingsmethode



Figuur 29: Lay-out van het magazijn bij de toekomstige voorraad-toewijzingsmethode

Bijlage 4: Berekening van de besparing in arbeidstijd en kosten

De gegevens waarop de volgende berekeningen zijn gebaseerd zijn de gemiddelde snelheid van een picking voertuig en de kost van arbeid per uur, respectievelijk 2,77m/s en 30€/uur. In Tabel 14 worden alle berekeningen gedaan voor de toepassing van de alternatieve voorraad-toewijzingsmethode. De resterende kolommen zijn gelijkaardig berekend.

	Alternatieve voorraad-toewijzingsmethode	Implementeren van order batching	Gezamenlijke toepassing
Besparing in afgelegde afstand per maand	140.491 meter	569.172 meter	609.678 meter
Besparing in arbeidstijd per maand	$140.491 \text{ m} / 2,77 \text{ m/s} * 1/3600 \text{ s/u} = 14,08 \text{ uur}$	57,1 uur	61,13 uur
Besparing in kosten per maand	$14,08 \text{ uur} * 30 \text{ €/uur} = 422,4\text{€}$	1710€	1834,16€
Besparing in kosten per jaar	$422,4\text{€/maand} * 12 \text{ maand/jaar} = 5068,8 \text{ €}$	20520€	22010€

Tabel 14: Berekening van besparingen

Auteursrechtelijke overeenkomst

Ik/wij verlenen het wereldwijde auteursrecht voor de ingediende eindverhandeling:
Het verhogen van de order picking efficiëntie door de analyse van voorraad-toewijzing en order batching (i.s.m. H. Essers)

Richting: **master in de toegepaste economische wetenschappen: handelsingenieur-operationeel management en logistiek**
Jaar: **2017**

in alle mogelijke mediaformaten, - bestaande en in de toekomst te ontwikkelen - , aan de Universiteit Hasselt.

Niet tegenstaand deze toekenning van het auteursrecht aan de Universiteit Hasselt behoud ik als auteur het recht om de eindverhandeling, - in zijn geheel of gedeeltelijk -, vrij te reproduceren, (her)publiceren of distribueren zonder de toelating te moeten verkrijgen van de Universiteit Hasselt.

Ik bevestig dat de eindverhandeling mijn origineel werk is, en dat ik het recht heb om de rechten te verlenen die in deze overeenkomst worden beschreven. Ik verklaar tevens dat de eindverhandeling, naar mijn weten, het auteursrecht van anderen niet overtreedt.

Ik verklaar tevens dat ik voor het materiaal in de eindverhandeling dat beschermd wordt door het auteursrecht, de nodige toelatingen heb verkregen zodat ik deze ook aan de Universiteit Hasselt kan overdragen en dat dit duidelijk in de tekst en inhoud van de eindverhandeling werd genotificeerd.

Universiteit Hasselt zal mij als auteur(s) van de eindverhandeling identificeren en zal geen wijzigingen aanbrengen aan de eindverhandeling, uitgezonderd deze toegelaten door deze overeenkomst.

Voor akkoord,

Mrak, Boris

Datum: **31/05/2017**